

PCT

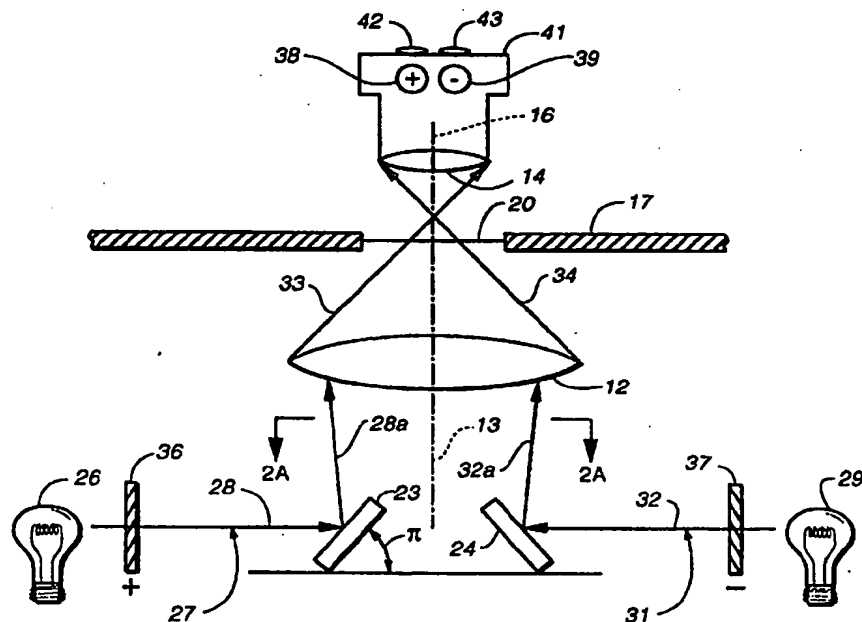
WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION  
International Bureau



INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

<p>(51) International Patent Classification <sup>5</sup> : <b>G02B 21/00, 21/06, 21/18, 27/10, 27/02</b></p>	<p><b>A1</b></p>	<p>(11) International Publication Number: <b>WO 95/29419</b> (43) International Publication Date: 2 November 1995 (02.11.95)</p>
<p>(21) International Application Number: PCT/US94/04438 (22) International Filing Date: 21 April 1994 (21.04.94) (71) Applicant: EDGE SCIENTIFIC INSTRUMENT CORPORATION [US/US]; 1630 - 17th Street, Santa Monica, CA 90404 (US). (72) Inventor: GREENBERG, Gary; 4231 Kenyon Avenue, Los Angeles, CA 90066 (US). (74) Agent: BRUCKER, H., Michael; Suite 110, 5855 Doyle Street, Emeryville, CA 94608 (US).</p>		<p>(81) Designated States: AU, CA, FI, JP, KR, NO, European patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  Published With international search report.</p>

(54) Title: ILLUMINATION SYSTEM AND METHOD FOR A HIGH DEFINITION LIGHT MICROSCOPE



(57) Abstract

An illumination system and method for increasing resolution, sharpness, depth of field, and perception of depth for a light microscope including an objective lens (14) having an optical axis (16), and a set of reflecting mirrors (23, 24) wherein one or more illuminating light beams (28, 32) are reflected from the reflecting mirrors and then focused onto the specimen (20) via paths (33, 34) that pass through the objective lens and are not coincident with objective lens axis.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平10-502742

(43) 公表日 平成10年(1998) 3月10日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 21/06

識別記号

庁内整理番号

9514-2H

F I

G 0 2 B 21/06

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 47 頁)

(21) 出願番号 特願平6-524687  
(86) (22) 出願日 平成6年(1994) 4月21日  
(85) 翻訳文提出日 平成8年(1996) 10月21日  
(86) 国際出願番号 PCT/US94/04438  
(87) 国際公開番号 WO95/29419  
(87) 国際公開日 平成7年(1995) 11月2日  
(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), AU, CA, FI, JP, KR, NO

(71) 出願人 エッジ・サイエンティフィック インスト  
ルメント カンパニー エル エル シ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
90404 サンタ モニカ セブンティーン  
ストリート 1630

(72) 発明者 グリーンバーグ ゲアリー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
90066 ロサンゼルス ケニオン アベニ  
ュー 4231

(74) 代理人 弁理士 中村 稔 (外6名)

(54) 【発明の名称】 照明システムおよび高精細度光学顕微鏡

(57) 【要約】

光学顕微鏡用の解像度、鮮明さ、視野の付加さ、および深さの知覚を高めるための照明システムおよび方法は、光軸(16)を有する対物レンズ(14)および一組の反射鏡(23、24)を含み、一以上の照明光線(28、32)は、反射鏡から反射され、次に、対物レンズを通り対物レンズの軸とは一致しない経路(33、34)を経由して試料(20)上に焦点が合わされる。

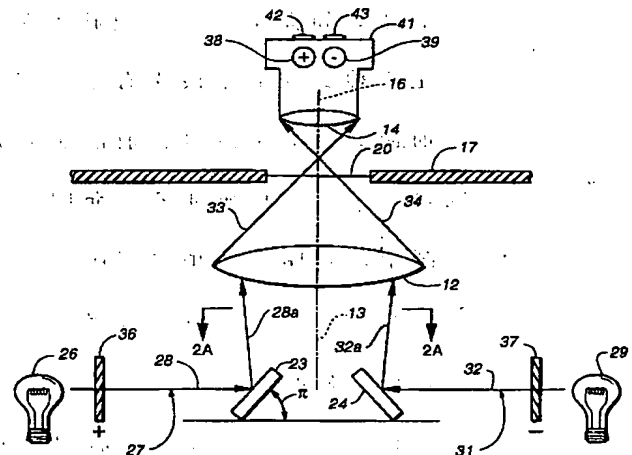


FIG. 2

## 【特許請求の範囲】

1. 試料を見るための光軸を持つ対物レンズ手段を有する反射顕微鏡において、改良が、

複数の照明光線が試料上に向けられ、前記光線が該対物レンズ手段を通り該対物レンズ手段の光軸に対して斜めの照明経路をたどる、改良。

2. 請求の範囲第1項に記載の発明において、前記照明光線は、該対物レンズ手段を通り該対物レンズ手段の光軸に対して斜めである試料からの反射経路をもつ発明。

3. 請求の範囲第2項に記載の発明において、さらに、

前記照明光線を提供する光線源手段、

前記照明光線の照明経路内に配置された光線シフト手段、を有する発明。

4. 請求の範囲第3項に記載の発明において、

前記シフト手段は、前記照明光線を前記光線源手段から対物レンズ手段上に向ける発明。

5. 請求の範囲第2項に記載の発明において、さらに、

前記照明光線を提供する光線源手段、

前記照明光線の照明経路内に配置され、前記照明光線の反射経路内には配置されない光線シフト手段、を有する発明。

6. 請求の範囲第5項に記載の発明において、さらに、

主光線シフト手段を有し、

前記シフト手段は、前記照明光線を前記光線源手段から前記主シフト手段上に向けるように作動する、発明。

7. 請求の範囲第6項に記載の発明において、

前記主シフト手段は、照明光線を対物レンズ手段上に向ける、発明。

8. 請求の範囲第7項に記載の発明において、

前記主シフト手段は、前記照明光線の反射経路内にあり、光を反射させまた通過させる光線分割手段を含む、発明。

9. 請求の範囲第8項に記載の発明において、前記光線分割手段は薄膜である、発明。

10. 請求の範囲第4項に記載の発明において、

前記シフト手段は、光を反射させまた通過させる光線分割手段を含む、発明

11. 請求の範囲第10項に記載の発明において、前記光線分割手段は薄膜である、発明。

12. 請求の範囲第1項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

13. 請求の範囲第1項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

14. 請求の範囲第1項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

15. 請求の範囲第1項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

16. 請求の範囲第2項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

17. 請求の範囲第2項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

18. 請求の範囲第2項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

19. 請求の範囲第2項に記載の発明において、前記光線の数は一である、発明。

20. 試料を見るための光軸を持つ対物レンズ手段を有する反射顕微鏡の解像度を高める方法において、

対物レンズ手段を通り該対物レンズ手段の光軸に対して斜めの経路に添って試料上に複数の照明光線に向ける作業、有する方法。

21. 請求の範囲第20項に記載の方法において、さらに、該光線が対物レンズ手段を出た後に該光線を該対物レンズ手段の光軸に対して斜めの経路に添って試料上に向ける方法。

22. 請求の範囲第20項に記載の方法において、さらに、

該光線が対物レンズ手段を出た後に該光線を対物レンズ手段の光軸に対して斜めの経路に添って試料上に向ける作業、を含む方法。

23. 請求の範囲第22項に記載の方法において、該光線の数は一である方法。

24. 請求の範囲第22項に記載の方法において、該光線の経路は約90度離されている方法。

25. 請求の範囲第22項に記載の方法において、該光線の経路は約180度離されている方法。

26. 請求の範囲第22項に記載の方法において、該光線の数は一以上であり、対

物レンズ手段の光軸の周囲に周方向に配置される方法。

27. 請求の範囲第26項に記載の方法において、該光線の数は一である方法。

28. 請求の範囲第26項に記載の方法において、該光線の数は一である方法。

29. 請求の範囲第26項に記載の方法において、該光線の数は一である方法。

30. 試料を見るための光軸を持つ対物レンズを有する反射顕微鏡において、改良が、

対物レンズ手段を通り該対物レンズ手段の光軸に対して斜めの照明経路に添って試料上に一本の照明光線を向ける作業、有する改良。

31. 請求の範囲第30項に記載の発明において、前記光線は、該試料から対物レンズ手段を通り該対物レンズ手段の光軸に対して斜めの反射経路を有する発明。

32. 請求の範囲第31項に記載の発明において、さらに、

前記光線を提供する光線源、および、

前記光線の経路内に配置される光線シフト手段、を有する発明。

33. 請求の範囲第32項に記載の発明において、

前記シフト手段は、照明経路および反射経路の両方にあり、光を反射させまた通過させる光線分割手段を含む、発明。

34. 請求の範囲第33項に記載の発明において、

前記シフト手段は、前記光線に対物レンズ手段を通る経路に添って向ける、発明。

35. 請求の範囲第33項に記載の発明において、前記光線分割手段は薄膜である、発明。

## 【発明の詳細な説明】

## 照明システムおよび高精細度光学顕微鏡

## 発明の背景

## 1. 発明の分野

本発明は、対物レンズを利用する光学顕微鏡の為の照明システムに関し、より詳しくは対物レンズの光軸に対して斜角で当てられる照明光を利用するこの種のシステムに関する。

## 2. 先行技術

顕微鏡に一般に「斜光」とよばれる光を使用することは、前世紀の末から今世紀の始めにかけて関心集めたが、そのために考案された多くの装置は、中には独創的なものもあったが、今日ではすでに用いられていない。この点に関しては、C. W. オリバー著「The Intelligent Use of the Microscope (顕微鏡の聰明な使い方)」Chemical Publishing Co., 1953 を参照のこと。

オリバーは、「斜光」という語をしようするとき、注意深く「光軸以外の方向から対物レンズに入射する任意の方向の光錐あるいは光線の使用」(同書94ページ)に限定している。これによって、彼は、光軸以外の方向から試料に向けられるが対物レンズには入射しない光線を使用するシステムや光がある角度で対物レンズに入射しないシステム(単に試料の載物台を傾けるシステムなど)を検討の対象から除外している。一次光線が対物レンズに入射しないシステムによって得られる照明が、一般に「暗視野」照明と呼ばれることは知られているが、この点に関しては、R. P. ラブランド著「Photomicrography, a Comprehensive Treatise (顕微鏡写真術概論)」John Wiley & Sons 第12章に詳しい。本発明は、オリバーが使用している意味で真の斜光を利用するもので、したがって「暗視野」系とは明確に区別されるべきものではあるが、ここで「明視野」照明と「暗視野」照明を簡単に説明しておくことで、本発明がより明かとなりまたその属性がより明確に理解されよう。

光軸に添って試料に光線を当てる照明システムによって「明視野」照明が得られる。この呼び名は、光線が試料を取り囲む視野を通過して顕微鏡の対物レンズに入射する光線が妨げられずしたがって試料を通過して減衰する光線と比較して明

るために用いられる。「暗視野」系にあっては、相対輝度は、光線を光軸に対して角度が与えられまた対物レンズのアパーチャーの外側に向けられた試料視野にのみ向けることで逆転する。試料を取り囲む試料視野を通る光は、すべて妨げられずに入射し、したがって対物レンズによって「見られる」ことがない。ただし、試料に向けられる光が若干散乱して二次光線となり、その中のあるものが対物レンズに入射する（そして「見られる」）ことはある。このため、対物レンズは、周囲の暗視野より明るく見える。この種のシステムは、アメリカ合衆国特許第4896966号に記載されている。

先行技術には、例えばイギリス連合王国特許第887230号およびアメリカ合衆国特許請求の範囲第4601551号に示されているような「明視野」および「暗視野」照明を共に用いるシステムおよび選択的に用いるシステムが多数含まれている。これらのシステムでは、すべて、一次照明光が光軸と一線に揃えられるかあるいは対物レンズのアパーチャーの外側に向けられるかのいずれかである。

アメリカ合衆国特許第3876283号の発明は、顕微鏡の集光装置の光軸上に配置されたプリズムを使用して軸方向の照明光線を光軸とは別の通路へ横方向に逸らせ、光線を集光レンズ上の中心を外れた位置へ向けるようにして真の斜光を用いるシステムの使用を開示している。光軸に平行な光線が集光レンズ上の中心を外れた位置に入射すると、光線は、光軸に対してある角度でレンズを出る。この角度は、光線のレンズの中心からのずれの関数である。特許第283号に述べられているように、この角度が対物レンズのアパーチャーの範囲内にある場合には、そのシステムは、オリバーが定義した真の斜光照明を生成する（光が対物レンズによって「見られる」）。光線の最大傾斜角を得るためには、高精細度が集光レンズの周にきわめて近いところで対物レンズのアパーチャーの範囲内の角度で該レンズを出なければならない。特許第283号の開示では（図示の平プリズムに楔形のプリズムを加えることによって）これは可能であるが、集光レンズと対物レンズの組み合わせを変えるごとに最大角を得るために異なる対のプリズムが必要となる。さもないと、特許第283号のシステムでは、使用する対物レンズと集光レンズの特性によっては、集光レンズの周の内側の位置で該

レンズに横方向にずらされた光線に向け、それによって対物レンズのアパーチャーの範囲内で出射角が得られるようにする必要が生じる。そのような場合には、最大可能斜光角が得られず、下に説明するようにシステムの最大分解能が得られなくなる。

特許第'283号では、システムは、(15と17の間の)照明光線の位置と光軸上の光線経路変更手段23(プリズム)によって制限され、単一の照明光線のみを使用することが許される。上に挙げた参考文書は、解像度を高めることのできる斜光照明の真の潜在能力を認識していない先行技術の代表的な例である。実際、特許第'283号は、斜光照明の解像度を高める潜在能力を認めておらず、それを使用する一つの理由として陰影を付けて試料の不均一な部分を際立たせることを挙げている。すなわち、特許請求の範囲第'283号の目的あるいは必要性は、必ずしも最大斜光角を提供することではない(例えば、陰影を付け過ぎると細部が不明瞭になるおそれがある)。しかし、斜光照明の解像度を大幅に高める潜在能力を完全に実現するための要件の一つは、斜光の角度を最大にすることである。単一光線系では、照明光線が集光レンズの周を出て、対象物を照明している光が最大斜角を示ししかも対物レンズのアパーチャーの範囲内にあるようにすることによって、所与の集光レンズ/対物レンズの組み合わせに対して最大の解像度が得られる。光線が集光レンズを出る角度を、光線が集光レンズを出る位置とは独立に調節できるようにすることによって、試料を照明する光の(対物レンズ手段の光軸に対する)角度を完全に最大にすることができる。同様に、光線が集光レンズを出る位置を出る角度とは独立に調節できるようにすることによって、任意の集光レンズの潜在能力を完全に利用することができる。集光レンズを出る光線の角度および位置を調節する能力があれば、(開口数の大きい)大きい集光レンズを使用して多くの対物レンズで最大斜光照明を達成することができる。

本発明は、真の斜光照明の潜在能力を最大限に実現するための本質的な要件は、各光線が照明が対物レンズに入射できる対物レンズの軸に対する最大角度を示すような二以上の別個の光線に対物レンズに当てる能力であることを開示するものである。物理的必然性から、そのためには、光線シフト手段が対物レンズの光



軸から外れた位置にあることが必要である。また、本発明は、先行技術の照明システム

テムに認める異方性を克服するものである。

さらに、本発明は、多数の光線を用いて例えばアメリカ合衆国特許第4072967号に記載されているような単一光線で得られるよりはるかにすぐれたリアルタイムの3-Dシステムを開示するものである。特許第967号は、単一の集光レンズと単一の対物レンズを備えた顕微鏡を用い、複数の相補性フィルターを集光レンズの左半分と右半分の横切って配置した双眼鏡の接眼レンズを含むアイピースの中に一つの相補性フィルターを配置して3-D像を得る方法を開示している。この主のシステムでは、視差度は固定される。さらに、とくに像視野の中央で左と右の像の視差にはほとんど相違がない。これに対して、本発明では、左と右の像が独立に制御され、またそれらの間の視差度を使用している対物レンズの種類と見ている試料の種類に合うように容易に調節することができる。さらに、本発明には他のおそらくはさらに重要な効果がある。それは、以下により詳細に説明するように解像度を犠牲にすることなく視野深度を高めることができる点である。これは、シャープな3-D像を生成するための必要条件である。

#### 発明の概要

本発明は、光学顕微鏡のための照明システムにおいて対物レンズ手段（これは数このレンズからなるものとすることができる）を特徴とする。該対物レンズ手段は、見る手段と照明された対象物あるいは試料の間に配置される。

顕微鏡の視界の回折理論は、アンフィブレウラ・ペルシダ (Amphipleura Pellucida) のような珪藻植物の標識などのきわめて接近した構造上の詳細部分を有する対象物を検査するときに、詳細部分の単一の点または線の像が多数のスペクトル（回折さざなみの序列と呼ばれることもある）で取り囲まれる中央光線からなることを教えている。これらのスペクトルの数と配置は、標識のパターンと用いられる光の波長によってきまる。中央光線から回折さざなみ間での距離は、試料の上の標識が細かければ細かいほど（構造上の詳細部分の間隔が小さければ小さいほど）大きい。

この回折理論は、さらに、試料の任意の像を得るためには少なくとも一つのさざなみの序列を回収して中央光線と再結合する必要があることを教えている。

中央光線と再結合される連続するさざなみの序列が多ければ多いほど、像の解像度と鮮明さが高まる。

アンフィブレウラ・ペルシダ(*Amphipleura Pellucida*)のような珪藻植物上で軸方向の照明光線を用いると、スペクトルが生成されるが、中央光線からきわめて離れているために、それらを含めようとすると現存のアパーチャーでは最も高いものでも不十分である。そのため、試料の標識は解像されずしたがって見えないままとなる。

斜光照明を使用すると、試料に関するさざなみの一以上の序列を含めることが可能となり、軸方向の光で照明するとさざなみのすべての序列が集光レンズの先まで投影される。斜光の角度が大きければ大きいほど、対物レンズのアパーチャーの中に含まれるさざなみの序列の数が大きくなり、したがってシステムの分解能が高まる。実際、軸方向の照明と比較すると、最適の斜光照明は序列ゼロのさざなみを対物レンズのアパーチャーの縁近くに配置ししたがって任意の所与の構造上の詳細部分に関して対物レンズがより多くの回折さざなみの序列を再結合できるため、像の解像度と鮮明さをともに有意に高めることができる。

したがって、本発明の一つの主要な目的の一つは、光学顕微鏡のために、斜光照明を生成しそれによって顕微鏡の分解能と像の鮮明さを高める照明システムおよび照明方法を提供することである。

上に述べた目的に関連して、透過光顕微鏡または反射顕微鏡に用いた場合に一または複数の光源光線全体を試料用の照明光源として利用することである。すなわち、本発明は、先行技術とは大きく異なり、光源光線の小さな部分から斜光光線を生成するために集光装置上または対物レンズと試料の間にマスクを使用するものではない。

本発明のさらに他の一つの目的は、集光レンズを有する透過光顕微鏡または集光レンズをもたない反射顕微鏡のために、対物レンズの光軸に対してその位置および角度をともに独立かつ選択的に調節することのできる斜光光線を生成する照

明システムを提供することである。

本発明のさらに他の一つの目的は、対物レンズを有する反射光顕微鏡のために、対物レンズを通過する位置および角度をともに独立かつ選択的に調節することの

できる斜光光線を生成する照明システムを提供することである。

本発明にもとづく単一の照明光線を使用すれば、本発明の範囲内で解像度に関して先行技術を凌駕することのできる結果が得られるが、本発明では複数の独立光線が用いられるときに斜光照明の最大の潜在能力が得られる。具体的には、単一光線システムによって高い解像度が得られるが、それは、主として（試料の面に投射される）光の光軸の方向に添ってである。さらに、この軸に対して90度の角度では解像度と鮮明さが有意の減少する。例えば、アンフィブレウラ・ペルシダ (*Amphipleura Pellucida*) の詳細部分のパターンを見るためには、試料を載物台上で回転させて標識を斜めの照明光線の軸に添った方向に向ける必要がある。試料を最適の状態から離れる方向に回転させると、標識の明瞭さが損なわれ、最後にはまったく見えなくなってしまう。試料をさらに回転させると、方向が180度に近づくにしたがって再び標識が見えるようになる。これは、単一の斜光光線がX軸に添って解像度を高めまた垂直なY軸に添って解像度が低下する結果である。しかし、方向が90度異なる二本の斜光光線で試料を照明すると、X軸およびY軸の双方で像の解像度と鮮明さが増大する。集光装置の光軸の周囲で径方向に間隔を置いた多数の斜めの照明光線を用いれば、基本的に試料面全体で高い解像度が得られる。その結果、試料を載物台上でどのような方向に向けてもアンフィブレウラ・ペルシダ (*Amphipleura Pellucida*) 上の標識など構造上のきわめて小さい詳細部分を見ることができる。

多数の光線を使用する場合には、斜光照明によるばかりでなく対物レンズへの斜めの異なる経路を通る多数の光線から生じるシステムのNA（開口数）の全体的な増大によって高い解像度が得られる。すなわち、きわめて斜めの光線が通常の軸方向の光線より大きい角度で対物レンズに近づくために光線の「役に立つ」NAがその通常の潜在能力を越えて増大する。各光線ごとに角度が増大するのは

対物レンズの片側だけであり、反対側では角度が不足する。しかし、第二の斜光線が第一の光線に対して反対側の角度で対物レンズ上に向けられると、対物レンズの両側で単一の中央光線で可能なよりも大きい角度で光線が見られることになる。したがって、多数の斜光線を光軸に対して互いに対向する角度で対物レンズに向けると、それらが組み合わされて照明のアパーチャーが全体として増大

し、したがってシステムの解像度が全体として増大する。像の最終的な解像度は、システムのNAに依存する。対物レンズとともに集光レンズを使用する顕微鏡では、システムのNAは、対物レンズと集光レンズのNAの組み合わせである。

すなわち、本発明の他の一つの目的は、対物レンズ上に向けられる複数の独立した個別の照明光線であって、各照明光線が対物レンズの光軸に対して斜めであるような対物レンズまでの経路をたどる照明光線を利用する光学顕微鏡のための照明システムおよび方法を提供することである。

本発明の他の一つの目的は、各照明光線が対物レンズの光軸に対して斜めであるような複数の独立した個別の照明光線が試料を照明するために対物レンズを通るように向けられる反射光学顕微鏡のための照明システムおよび方法を提供することである。

本発明の他の一つの目的は、各光線の経路がその位置および角度の両方で独立に調節できる複数の独立した個別の照明光線に対物レンズを通るように向けられる光学顕微鏡のための照明システムを提供することである。このようなシステムは、既に述べた効果に加えて、解像度を低下させることなく視野の深さを有意に増大させることができる効果が得られる。

顕微鏡用の従来の照明システムでは、視野の深さおよびコントラストを高めるために集光レンズのアパーチャーを小さくすると解像度が低下することはよく知られている。視野の深さを高める公知の他の方法としては、(集光レンズのアパーチャーを完全に開いたまま)集光レンズをの焦点をわずかに外し、視野絞りアイリスを閉めて視野の深さを高めるものがある。単一の照明光線を使用する場合には、それが軸方向に添ったものであってもあるいは斜めのものであっても、視野の深さを高めると解像度が低下する。本発明にあつては、多数の斜光線が集

光レンズの上に向けられるため、視野の深さとコントラストを高めるために視野レンズのアパーチャを減少させても解像度は低下しない。これは、集光レンズがその全アパーチャから光線を受けて透過させるため、集光レンズでの照明の全アパーチャが減少しないことによる。換言すれば、最終像は、各々が照明の全アパーチャに加算効果をもつあらかじめアパーチャが設けられた斜めの照明光線の配列によって生成される視野の深さが高められた多数の像の組み合わせ

である。同じ効果は、本発明の反射式実施形態にもあてはまる。

本発明のさらに他の目的は、高い解像度と視野の深さの高められたリアルタイムの3-D像を生成する対物レンズをもつ光学顕微鏡において二重の斜光光線を用いるための手段を提供することである。

本発明においては、個別の独立した照明光線を用いることによって、のぞむ場合には相補性フィルターを介在させて各光線を独立に操作し、それによって真のリアルタイムの3-D像を生成することが可能となる。一以上の光線の経路に偏光フィルターを介在させることによって、高い解像度が実現されると同時に選択的な影の回転など各種の効果を得ることができる。

本発明の他の目的は、一部はおのずから明らかであり、他の一部は以後の説明から明かとなる。

本発明の重要な部分は、単一の照明光線では不可能な結果を得るために二以上の個別の明確な斜光光線を多様な形状の対物レンズの上に向けることによって斜めの照明の最大の潜在能力を実現する方法を開示するものである。以下では、これらの形状の一部を説明しまたそれらの効果を検討する。しかし、とくに検討しないがやはり本発明の範囲に入る他の形状も可能である。

#### 図面の簡単な説明

本発明の以上説明した目的および他の目的、側面、および効果は、図面を参照して以下に行なう本発明の好ましい実施形態の詳細な説明からよりよく理解されよう。

第1A図は、照明経路がレンズの軸と一致する（集光レンズおよび対物レンズを含む）顕微鏡光学素子の略図である。

第1B図は、照明経路が集光レンズおよび対物レンズに平行であるが一致しない第1A図と同様な顕微鏡光学素子の略図である。

第1C図は、照明経路が二つのレンズの軸と一致せずそれらに対して斜めの第1A図と同様な顕微鏡光学素子の略図である。

第1D図は、第1A図の照明構成による対物レンズで見ることのできるさざなみの相対序列数を示す波の図である。

第1E図は、第1B図の照明構成による対物レンズで見ることのできるさざなみの相対序列数を示す波の図である。

第1F図は、第1C図の照明構成による対物レンズで見ることのできるさざなみの相対序列数を示す波の図である。

第2図は、本発明の二本光線の実施形態の光学系の略図である。

第2Aおよび2B図は、第2図の実施形態のための二つの可能な鏡の構成を示す平面図である。

第3図は、本発明の三本光線の実施形態の光学系の略図である。

第3A、3B、および3C図は、第3図の鏡の異なる各種構成を示す平面図である。

第4図は、本発明の光線シフト手段の異性図である。

第5図は、反射顕微鏡のための本発明の単一光線照明システムの光学系の略図である。

第6図は、反射顕微鏡のための本発明の二重光線照明システムの光学系の略図である。

第7A図は、光線が $100^{\circ} - 180^{\circ}$  離れている本発明の反射顕微鏡の二本の光線の照明構成を示す平面図である。

第7B図は、光線が $90^{\circ}$  離れている本発明の反射顕微鏡の二本の光線の照明構成を示す平面図である。

第7C図は、光線が対物レンズ手段の光軸の周囲に等間隔で配置される本発明の反射顕微鏡の三本の光線の照明構成を示す平面図である。

第7D図は、本発明の反射顕微鏡の四本の光線の照明構成を示す平面図である。

第7E図は、本発明の反射顕微鏡の六本の光線の照明構成を示す平面図である。

第8図は、ずれた光源をもつ反射顕微鏡のための本発明の多数光線の照明構成を示す前面光学系の略図である。

第9図は、第8図の実施形態の上平面図である。

第10図は、第8図の実施形態の側面図である。

#### 好ましい実施形態の説明

本発明の重要な一側面は、第1A-1C図を参照して最もよく説明することができるが、同図では、光線経路シフト手段(鏡)11、光軸13を有する集光レ

ンズ手段12、光軸16を有する対物レンズ手段14、および集光レンズ12と対物レンズ14の間に配置されて試料面20を画定する試料支持載物台17が透過顕微鏡照明システムの基本構成要素である。同図では本発明の諸原理が本発明の透過光実施形態との関連で示されているが、これらの諸原理は、以下により詳細に説明する反射顕微鏡に関しても等しく適用される。

支持載物台17は、光線源手段(図示せず)からの光線18によって照明される試料(図示せず)を保持する。集光レンズ12の軸13と対物レンズ14の軸16は一致するように示されているが、透過顕微鏡に関してはこれが最も一般的な構成である。このような軸の一致は本発明にとって必要ではなく、本発明は、例えば集光レンズが対物レンズに対して傾けられるようなシステムでも機能する。集光手段12も対物手段14もともにそれぞれ単一のレンズとして概略が示されているが、当業者には、集光手段も対物手段も複数のレンズ素子ならびに当該技術分野で公知の他の光学素子で構成する工程ができる。

第1A図に示すように鏡11が集光レンズの軸13上に置かれて集光レンズの軸13に対して法線となる光線18の最初の経路19に対して45度の角度で配置される場合には、鏡11でシフトされた後、光線の経路21aは軸13をたどることになる。

とくに断わらない限り、19および21aのように光線の経路を示す線は、光

線の軸を略図で表わすものである。もちろん、実際には光線は、収斂または発散する、または平行となる包絡面を有する。しかし、本発明は、光線の軸の経路をたどることによって最も容易に理解することができる。

公知のように、軸 13 に添って集光レンズ 12 に入射する光線は、経路 22a に添ってレンズから現われる。第 1A 図の構成の場合には、光線の経路 22a は、試料面 20 に対して直角に試料面を通過し、またその軸 16 に添って対物レンズ 14 を含むものとなる。第 1A 図は、典型的な「明視野」照明システムをあらわす。

第 1B 図に示すように、鏡 11 が集光レンズ 12 の軸 13 から横方向にずらされて 45 度の角度に保たれる場合、シフトされた光線経路 21b は、集光レンズの軸 13 に平行のままであるがそこから横方向にずらされる。集光レンズ 12 に

入射する光線の経路 21b が軸から外れた位置にあると、出射光線の経路 22b と対物レンズの軸 16 の間に角度  $\beta$  が生じる効果が得られる。しかし、光線 22b の集光レンズ手段 12 からの出射位置は、集光レンズの光軸 13 から横方向にずらされない。

試料面 20 は対物レンズの軸 16 に対して直角であるので、光線の経路 22b は試料面 20 で試料に対して角度が付けられて斜めとなる。しかし、本発明の目的のために重要な関係は、集光レンズ 12 からの出射光の経路 22b と対物レンズ 14 の光軸 16 の間の角度  $\beta$  である。本発明の効果は、例えば試料載物台を傾けることによって試料面と照明光線の経路の間に斜めの角度を生成しながら同時に照明光線が対物レンズの軸に平行な経路を進めるようにするシステムから生じるものではない。そのような構成では、若干の可能な影付けをすることによってのみ高められる標準的な「明視野」照明が生成されることになる。

第 1C 図を参照して、鏡 11 は、入射光源光線 18 の経路に対して 45 度より大きくなるように（例えば 50 度）傾けられ、該光線のために集光レンズ手段の光軸 13 に対してある角度  $\Omega$  で集光レンズ手段 12 への光線経路を設定するある反射率の角度を生じさせる。角度  $\Omega$  で集光レンズ 112 に入射する光の経路 21c の効果は、出射光線の経路 22c の位置を集光レンズ手段 12 の中心から周に



より近い位置へ横方向にシフトさせることである。従って、第 1 C 図に示すように光線経路 19 に対する鏡 11 の角度を変化させまた軸 13 から外れるように横方向にずらすことによって、光線経路シフト手段 11 は、出射経路 22c の角度を制御するばかりでなく集光レンズ 12 上でのその位置を制御するように作動する。このような状況のもとでは斜めの照明角度は増大する（第 1 C 図に角度  $\mu$  は第 1 B 図の角度  $\beta$  より大きい）。したがって、集光レンズ 12 からの出射光線の経路 22c の角度は、入射光線の経路 21c の横方向（軸 13 から径方向）のずれの関数であり、集光レンズ 12 上での出射光線の経路 22 の横方向（軸 13 から径方向）の位置は、集光レンズ手段 12 の軸 13 に対する入射光線の経路 21c の角度の関数である。

本発明の必要性の一つは、対物レンズのアパーチャの限度内で集光レンズからの出射光線の角度を最大にするために光線経路シフト手段 11 を操作すること

である。これは、焦点距離、活動距離、および開口数などのレンズの使用に左右される。

対物レンズのアパーチャの範囲内での対物レンズの軸 16 に対する光線経路 22c の最大傾斜角度は、集光レンズ 12 の縁部またはそれにきわめて近いところで集光レンズを出る光線経路をもつようにすることによって得られる。これは、光源光線 18 に対する鏡 11 の角度を変えそれによって集光レンズに対する光線経路 21c の角度  $\Omega$  を変えることによって行なわれる。同時に、真の斜光照明を生成するためには、光線の全部または一部が対物レンズに入射することが必要であり、したがって特定の対物レンズに関しては集光レンズからの出射光の経路が特定の角度ならびに位置を示すことが必要である。また、すでに説明したように、角度  $\mu$  は鏡 11 の径方向の位置のしたがって集光レンズの光軸 13 に対する入射光線の経路 21c の径方向の位置の関数として変化する。

本発明で得られる効果の一つは、光線経路のシフト手段によって集光レンズの縁部からの出射光線の経路を対物レンズを含むようになるまでシフトすることができるため、大部分のシステムで最大の大きさの集光レンズを使用することができる利点があることである。このようにすれば、最良のガラスを用いて最大の光

線経路角度が得られ、その結果解像度を大幅に高めることができる。さらに、本発明にあっては、先行技術のシステムと異なり、光錘の縁部または小さな部分だけではなく最適の角度にした光線の大部分を対物レンズに入射させることができ、したがって利用可能な光に対して可能な最も明るい像を生成することができる。

上に述べた単一光線のシステムも顕微鏡の解像度を大幅に改善することができるが、解像度の改善は主として（試料面上に投射される）照明光線の軸方向に添って行なわれ、軸方向に対して90度の方向での解像度は有意に劣化する。

解像度と鮮明さは、最終的には対物レンズで回収して再結合することのできる回折さざなみの序列の数によってきまる。第1D、1E、および1F図は、それぞれ第1A、1B、および1C図に示す照明条件のもとで対物レンズによって見ることのできるさざなみの序列の相対数を示す。第1B図の斜光照明条件に対応する第1E図では、対物レンズが第1A図の軸方向の照明システムに対応する第1D図に示すものより多くの回折さざなみ25の序列を回収して再結合する。し

かし、X軸方向で回収されるさざなみの序列の増大は、Y軸方向で回収される序列の減少をともなう。軸方向の照明で達成可能な解像度に対するこの解像度の増大（または減少）は、角度 $\phi$ の余弦の2倍に比例する。ただし、角度 $\phi$ は斜光照明の軸に対する試料（図示せず）の方向の角度である。角度 $\phi$ は、0から90度の範囲にあり、0度はX軸（斜光照明の軸）であり、90度はY軸である。

第1C図に示す最大斜光照明条件にたい応する第1F図では、対物レンズによって回収されて再結合される回折さざなみ25の数は、第1Bおよび1E図に示す斜光照明条件で得られる数より大きい。これは、対物レンズが、さざなみの間隔が短縮されるように見えしたがって対物レンズによってより多くのさざなみが見えるようなきわめて斜めの角度でさざなみの前面を見ろという事実による。この付加的な解像度の増大は、斜光照明光線の軸と対物レンズ手段の光軸16の間の角度の正弦に比例する。

すなわち、照明光線の横方向のずれの量に関する解像度の増大があり、また光軸に対する照明光線の角度に関する解像度の増大がある。解像度の増大全体

は、これら二つの要素の組み合わせの効果である。

本発明の際だった特徴の一つは、照明光線シフト手段（すなわち鏡11）が集光レンズの軸から外れて配置され、しかもシステム内部で複数のこのような光線シフト手段を作動できるようにしたことである。このため、それぞれの軸が互いに選ばれた角度で配置された複数の照明光線を利用して試料面全体で解像度を改善することができる。

第2図を参照して、集光レンズ12の光軸13から外れて配置された鏡23および24の形の一对の光線経路シフト手段によって、システムは、集光レンズ手段12に対する二つの独立した照明光線を用いて作動することが可能となる。光線源手段（ランプ）26は、光線27を光線経路シフト手段23を含む光源光線経路28に添った方向に向ける。同様に、光線源手段（ランプ）29は、光線31を経路シフト手段24を含む光源光線経路32に添った方向に向ける。鏡23は、光線経路28の方向を集光レンズ12を含む経路28aにシフトする。鏡23は、集光レンズの軸13から径方向にある距離で離されて集光レンズ12からの出射光線経路33が対物レンズ14を通る最大角度でレンズの縁部から現

われるようにする入射光線27に対してある角度 $\pi$ を示すように配置される。同様に、鏡24は、光線経路32の方向を集光レンズ12を含む経路32aにシフトする。鏡24は、鏡23と全く同様に作動して集光レンズ12からのぞむ出射光線経路を生成する。第2A図には、軸13に対する鏡23および24の位置の関係を示すが、この間系は、のぞむ結果に応じて異なるものとすることができる。例えば、シフト手段は、3-Dで見る目的では第2A図に示すように基本的に対向する（180度離れた）関係に配置することができるし、二本光線システム全体として最良の解像度を得るために第2B図に示すように基本的に直角の（90度離れた）関係に配置することもできる。試料面全面での解像度は、光線の数を増やすことで改善される。第2C図に示す三本光線システムでは、軸13の周囲に等角度の（120度離れた）間隔で光線シフト手段30が配置され、試料面前面の解像度が改善される。光線シフト手段を軸を外して配置するため、鏡の構成および間隔を多様に変えて特定のニーズに合うようにすることができる。

本発明の目的を達成するため、光線27および28（第2図）の光源は、図示のような個別の独立した光線源から得ることもできるし、あるいは当該技術分野では公知のように単一の光線を生成する光線源手段から得た光線を光線分割手段で分割して用いることもできる。個別の独立した経路に添って集光レンズに向けられた多数の光線27および31を用いて対物レンズ手段14の光軸16に添っていない出射光線経路33および34が得られることは、光源の問題よりさらに重要である。

同様に、光線シフト手段の一つとして鏡を使用することができるが、プリズム等他の手段を用いることもでき、ここに示されていない他の手段も本発明の範囲から除外されているわけではない。本発明は、実際、光ファイバーを用いて得られる個別のマイクロ光源とこれらの光源を配置して特定の方向に向ける機械的または電気機械的手段を含む光線シフト手段と組み合わせる構成も含むものである。いずれにせよ、本発明は、対物レンズ手段の光軸に対して斜めの経路に添って対物レンズ手段に向けられる個別の独立した光線を特徴とするものである。

さらに、本発明にあっては、光線シフト手段は各種の異なる対物レンズに対応するために調節自在である。ただし、所与の対物レンズ／集光レンズの組み合わせ

せでは、調節自在の光線シフト手段を用いる必要はなく、固定式あるいは事前調節式光線シフト・システムがあれば十分である。したがって、本発明は、光線を適当な位置および配向角度で集光レンズ内に向ける公知のこの種固定式システムを含むものである。

本発明の多数光線式実施形態の顕著な特徴の一つは、試料面20で試料を照明するために利用可能な光の強度である。角度の付いた光線を生成する先行技術の装置とは異なり、本発明は、マスクあるいは他の遮光装置の使用を必要としない。そのため、本発明では試料の照明のために実質的に光線源からのすべての光を利用することができる。光線源手段は図式的に電球として示してあるが、当業者には、光線源手段が任意の照射光源ならびに対象物に照明光を与えるためのレンズ手段および他の公知の光学装置を含むものであることが理解されよう。

多数光線実施形態の他の一つの重要な特徴は、先行技術で知られるすべての斜

光照明システムに固有の異方性の問題を克服できることである。解像度および鮮明さの異方性についてはすでに述べた。先行技術のシステムに関連する異方性の他の問題は、像視野の明らかな不均等照明である。すなわち、視野の片側が明るく見えるのに対して反対側が暗く見えるという問題である。本発明において多数の光線を導入することにより、均等に照明された視野を生成することが可能となる。

本発明においては、集光レンズにいたる異なる経路をたどる複数の光線を利用することにより、それらの光線を個々に操作して解像度の増大に加えて各種の結果を生み出すことが可能となる。例えば、第 2 図を参照して、光線経路 28 および 32 にそれぞれ相補性偏光フィルター 36 および 37 を挿入し、合わせて一対の接眼レンズ 42 および 43 を有する双眼鏡のアイピース 41 内に同様なアイピース用偏光フィルター 38 および 39 を配設してリアルタイム 3-D を得ることができる。フィルター 36 および 37 は、当該技術分野ではさまざまな形の相補性をもたせることが可能なことを示すためにプラスとマイナスの符号を付けてある。これらは、偏光軸が互いに直角であるように配向された面偏光子とすることもできる。あるいは、円形偏光子で、対の一方が左回り偏光を生成し他方が右回り偏光を生成するものとすることもできる。さらにあるいは、該フィルターを吸収式または二色式（例えば赤と緑）フィルターとすることもできる。アイピース

・フィルター 38 および 39 は、フィルター 36 および 37 と相互に作用して光源 26 および 29 の一方からの光のみを選択的に制限し、光線経路 33 に添った光で生成される像が接眼レンズ 43 を出ずまた光線経路 34 に添った光で生成される像が接眼レンズ 42 を出ないようにする。

フィルターを通った光線は光線経路シフト手段 23 および 24 の調節によって重なり合わせることができ、それによって真の 3-D 像が生成され、また光線の光の経路の方向を独立に制御することができるために左右の像の視差角度を制御することができ、したがって最終の像の深みの知覚度を制御することができる。

均等な間隔で配置される四本光線システムでは、一対の隣接する光線によって一方のアイピース用の照明が得られ、他方の対の隣接する光線によって他方のア

イピース用の照明が得られるため、3-D像用の直角な二本光線のシステムに適した高い解像度を得る効果がある。したがって、二対の三本の光線を用いる六本光線システムでは3-D用にさらに高い解像度が得られることになる。

本発明は、視差度が固定される単一光線リアルタイムの3-Dシステムで得られるものをはるかに凌駕し、とくに像視野の中心では左像と右像の間に視差の相違はほとんどない。むしろ、本発明では、左と右の像は独立して制御することができ、それらの間の視差の度合いを簡単に調節して使用している対物レンズの種類および見る試料の種類に合ったものとすることができる。さらに、本発明には、解像度を犠牲にせずに視野の深まりを高めることができるというさらに他のおそらくはより重要な効果がある。これは、鮮明な3-D像を生成するための必要条件である。

本発明の照明システムを利用する顕微鏡は、偏光フィルター、アパーチャー絞り、コリメーター等の顕微鏡検査法で公知の各種光線操作装置を任意に使用することができる。本発明の多数光線システムでは、これらの装置を用いて特性の異なるあるいは特性の等しい光線を提供することができる。

解像度は、主として照明光線の（両方向の）軸に添いまたそれに対して90度の軸に添っては低減する斜光照明によって高められるので、二本の光線を用いて試料面全体での高い解像度の第一次近似を得ることができる。しかし、光軸の周囲に径方向に間隔を置いて配置した五本または六本以上の斜光光線を用いても得

られるところは少ない。単一の斜光光線に関連する解像度の異方性について既に述べたことから明らかなように（第1Eおよび1F図）、各照明光線の軸の片側での15度以内での解像度の落ち込みは（当該角度の余弦に比例する）無視できる。

三本光線システムの例として、第3、3A、3B、および3C図を参照して、鏡の表面45、46、および47は、それぞれ光線シフト手段48、49、および50上に支持されている。各鏡の表面は、それぞれ光線源手段58、59、および61から出る光線54、56、および57の光学光線経路51、52、および53のいずれかに配置されている。第3Aおよび3B図を参照すると最もよく

わかるように、シフト手段 48、49、および 59 は、集光レンズ手段 12 の光軸 13 に対して径方向に向かう経路 55 に添って移動自在である（第 2 および 3 図参照）。本発明に関しては、該光線シフト手段は、光線反射鏡の表面 45、46、および 47 が軸 13 から径方向に向けて配置される経路 55 上に位置に配置されている。既に詳細に説明したように、鏡（例えば 45）の位置をその径方向の経路 55 に添って変えることによって、光線の出射経路 66（第 3 図参照）の集光レンズ手段 12 からの角度が変えられる。

第 3 C 図を参照して、本発明のシステムでは、鏡の表面の一つ（例えば 47）を光軸 13 上方で集光レンズ手段の軸 13 に添って移動する光線経路を生成する位置に配置することによって「明視野」照明が利用可能となる。他の鏡の表面は、同時に斜光照明を得るように配置することもできるし、あるいは標準「明視野」照明のために使用不能（鏡を集光レンズ手段の範囲外に出すかあるいは関連する光線源手段のスイッチを切る）とすることもできる。

シフト手段 48、49、および 50 の配置によっては、また、「暗視野」照明を行なうこともできる。鏡の表面を径方向に配置して対物レンズのアパーチャーの外側に落ちる角度にされた集光レンズ手段からの光線出射経路が生成されるようにすれば、「暗視野」照明が可能となる。

第 3 図を参照して、各鏡の表面 45、46、および 47 は、また関連する光源手段に対する角度を傾けてその鏡の表面の反射角を変化させることもできる。すなわち、鏡の表面を傾けることによってシフト手段から集光レンズ 12 までの光

線経路の角度を変え、それによって集光レンズ手段からの出射光線経路の位置が変えられる。

光学手段の光線 54、56、および 57 は、光学光線経路 51、52、および 53 をたどって、集光レンズ手段 12 の軸に対してほぼ法線方向でありまた集光レンズ手段 12 の軸および対物レンズ手段 14 の軸の周囲に等角間隔で配置される光線経路シフト手段 48、49、および 50 まで達する。ちなみに、これら二本の軸は一致するものとして図示されている（第 2 図参照）。鏡 45、46、および 57 は、径方向に角度をもたせて配置して集光レンズ手段 12 経の光線経

路62、63、および64の方向を確立し、それによって集光レンズ手段から対物レンズ手段までの出射経路66、67、および68の位置および方向を制御する。

シフト手段と集光レンズ手段12の間の実用的な寸法と間隔では、集光レンズ12からののぞむ出射経路を得るために必要な正確な位置と角度で個々の光線54、56、および57からの光をすべて集光して集光レンズ12上に向けることはきわめて困難である。大きい視野レンズ71（例えば、50mm、 $f/1.2$ のカメラ・レンズ）を用いれば、プレ集光レンズ手段として作用し、入射光線からのすべての光を集光してそれらの光線を正確に集光レンズ12上に向けることができる。集光レンズ12に対して視野レンズ71を昇降させれば、試料面20上の光線の大きさを調節する効果が得られ、低屈折力システムにも高屈折力システムにも対応することができる。

さらに、視野レンズ・アパーチャー（アイリス絞り）72を用いれば、集光レンズ手段をわずかに焦点外しとすることを条件に視野の深さとコントラストを制御することができる。先行技術のシステムでは、視野の深さを高めるために集光レンズのアパーチャーを減少させるが、そうすることによって集光レンズを出る光線の開口数がそれに伴って減少して解像度が低下する結果となる。しかし、本発明の多数光線実施形態では、集光レンズのアパーチャー69は完全に開いたままにして視野レンズ72のアパーチャーを減少させ、解像度を犠牲にすることなく視野の深さを高めることができる。これは、各照明光線のアパーチャーは減少するが集光レンズを出る照明全体のアパーチャーが有意に減少しないためである。

多数光線は、集光レンズのアパーチャー全体を照明し、解像度の犠牲は生じない。

鏡の表面45、46、および47の調節によって集光レンズ12からの光線の出射経路の方向および位置の制御を継続できるため、視野レンズ71とアイリス絞り72の挿入によって本発明の使用が妨害されることはない。

同様に、ランプ集光レンズ73、（光線の大きさを調節するための）ズームレ



ンズ 74、および偏光フィルター 76 等の装置を光源光線経路 54、56、および 57 に挿入することによって本発明の使用が妨害されることはなく、むしろその主要な効果の一つが強調されることになる。この種の光操作装置を（光源とシフト手段の間に）個別にあるいは合わせて光線上の例えば視野レンズ 71 の側などで使用しても、視野レンズのアパーチャー（アイリス）72 または（シフト手段とアイピース 78 の間の）偏光フィルター 77 がシステムの解像度を低下させることはない。

光源 58、59、および 61 が（単一の光源の光が光学手段によって分割されるのではなく）互いに独立している場合には、その強度を変化させてさらに研究のための異なる効果を挙げることができる。

以上の説明から、本発明は、高い解像度を得るために光操作の公知の光学装置の使用を制限するものではなく、光源手段によって得られる光に対して低い光のレベルで使用されるものでもないことが明かとなったであろう。すなわち、本発明の照明システムは、解像度を高め、同時に多様な研究上の必要を満たすことのできる照明条件を生成することができる。

本発明の多光線システムは、対物レンズ手段の光軸に対する照明光線の斜めの配向による増大（再結合されるさざなみの序列数の増大）と集光レンズの周の周囲から出る多数光線の加算効果による集光レンズの照明全体のアパーチャーの増大の双方から解像度の増大を得ることができる。

光源手段から光線シフト手段までの光源光線経路 54、56、および 57 内の偏光フィルター 76 が相補性を有する場合は、対物レンズ手段 14 とアイピース・レンズ 78 の間の光線の組み合わせの中で偏光フィルター 77 を回転させることによって、光線の効果を見ながらその一本または二本からの照明を有効に減衰させれば試料上の斜光照明の影の作用を回転させることができる。本発明は、

照明光線の位置および方向をきめるためのどのような特定の機械的または電気的システムにも依存するものではない。本発明は、調節自在な、あるいはあらかじめ調節された、あるいは固定式のシステムを含み、鏡、プリズム、光ファイバー、あるいは他の既知または未知の装置を利用することができる。機械的システム

は、当業者に公知の任意の形態をとることができる。例として、シフト手段の鏡を配置する機械装置を第4図を参照して説明する。

シフト手段80は、軌道87内で走行する車86に固定される「L字形」のマウント部材84にヒンジ83によって回動自在に接続された傾斜アーム82に取り付けられた鏡81を含む。該マウント部材84の端部に形成されたタブ89に取り付けられたケーブル88は、軌道87上に車86を配置ししたがって光軸に対する鏡81の径方向の位置をきめるための手段となる。枢動アーム91は、その一端が傾斜アーム82に枢動自在に取り付けられ、他端が該マウント部材内の溝93の中を走行するスライド92に取り付けられる。スライドの端部内に形成されたタブ96に取り付けられるケーブル94は、該スライドをその溝の中に配置し、そうすることによって傾斜アーム82の傾斜と鏡81の角度を調節する。ケーブル94および98を操作するために該ケーブルの端部に取り付けられたマイクロメーター（図示せず）を使用すれば、本発明のために必要な精度を得ることができる。

上のシステムの多数のシフト手段80は（当該技術分野で得られる技能の範囲内にある手段によって）機械的に相互接続させ、それらの位置が相互依存関係にあるようにすることができる。すなわち、一つのシフト手段を新しい径方向の位置に動かしたりあるいは一つの鏡を異なる角位置に傾ければ、他のシフト手段に対応する動きが生じる。このような構成によって、鏡の間にある固定関係を設定することができ、すべての光線に対物レンズの軸16に対する周方向の位置以外でシステムを通る経路内でほぼ同一とすることが可能となる。

一本の光線を他の光線を変動させずに変えられることがのぞましい場合には、シフト手段の配置を機械的に独立させることが最も有効である。本発明の好ましい実施形態にあつては、統一的な動きのためには機械的に相互接続され独立した動きのために機械的に接続されないように選択的に操作が可能である。このよう

なシステムは、多様な顕微鏡の用途でのニーズを満たすことができる。光軸を持つ集光レンズとそこから見える光軸をもつ対物レンズ手段を有する透過光顕微鏡の解像度、鮮明さ、および視野の深さを高めるための本発明の方法は、複数の独

立光線を集光レンズ手段の光軸と一致しない経路に添って集光レンズ手段上に向ける作業、および集光レンズ手段へ向かう該光線の経路の位置および方向を固定して該集光レンズ手段を出る該光線が対物レンズ手段を含みまた対物レンズ手段の光軸に対して斜めである経路に添った方向に向けられるようにする作業からなる。さらに、集光レンズ手段上への光線の経路の方向を選択して、対物レンズ手段を含む対物レンズ手段の光軸に対して最適の角度にある集光レンズからの出射経路を生成する。

光線の数が二本であってそれらが互いに対向する（基本的に180度離れた）経路に添った方向に向けられる場合には、リアルタイムの3-D像用の照明を行なうことができる。それらが直角（互いに90度）である場合には、二本の光線のみを用いて全体の解像度を最善にすることができる。光線の数が三本以上である場合には、それらを好ましくは径方向にまた集光レンズ手段の光軸の周囲に間隔を置いて配置すれば、試料面で全体の解像度を最善にすることができる。

本発明の一試料から対物レンズまでの多数斜光—という主たる開示内容は、対物レンズが照明を異なる角度から試料上に向ける集光レンズとして作用する透過光顕微鏡とならんで反射顕微鏡にも適用することができる。

第5図を参照して、光軸102を有する対物レンズ手段101は、試料支持載物台106にある試料104と観察手段107の間に光学的に配置されている。試料104は、光線源手段108によって照明され、該光線源手段は、初期光線経路111を介して試料104まで進む光線109をあたえるが、該光線は、部分的に銀が張られた鏡115を含む光線シフト手段112によって、対物レンズ手段101の光軸102に対して斜めで対物レンズ手段101を含む経路113へシフトされる。対物レンズ手段101は、やはり対物レンズ手段101の光軸102に対して斜めの経路114に添って該光線109を試料104上に向ける。光線109は、反射され反射経路116に添って試料104から離れるが、該反射経路116は、光軸102に対して入射光線の経路114と同じ角度にあり、

対物レンズ手段101を通過した後、経路117をたどり部分的に銀の張られた鏡115を通過して見る手段107へ向かう。

光線経路 1 1 3 の角度および位置は、シフト手段 1 1 2 の角度 1 1 2 A および横方向 1 1 2 T を移動させることによって調節自在で、大きさの異なる対物レンズ手段 1 0 1 を使用することができ、またその各々のために最適の傾斜角を得ることができる。顕微鏡に一般に使用できる他の光学装置と同様にまた第 3 図に示すように、ランプ集光レンズ 1 2 2 および／またはアイリス 1 2 3 を光線経路 1 1 1 内に配置することができる。

試料からの反射光は、対物レンズ手段 1 0 1 の光軸 1 0 2 に対して斜めの角度で対物レンズ手段 1 0 1 を通り、それによって第 1 B および 1 C 図の透過光実施形態に関連して上に述べたすべての効果を得ることができる。透過光実施形態の場合と同様にまた既に述べたと同じ理由から、反射光実施形態の性能は、多数で独立の斜光光線を使用することで改善される。

第 6 図を参照して、試料 1 0 4 は、第二の光線源手段 1 2 6 によって照明される。この光線源手段は、初期光線経路 1 2 8 を介して試料 1 0 4 まで進む光線 1 2 7 をあたえるが、該光線は、半分銀が張られた鏡 1 3 0 を含む光線シフト手段 1 2 9 によって、対物レンズ手段 1 0 1 の光軸 1 0 2 に対して斜めで対物レンズ手段 1 0 1 を含む経路 1 3 1 へシフトされる。対物レンズ手段 1 0 1 は、やはり対物レンズ手段 1 0 1 の光軸 1 0 2 に対して斜めの経路 1 3 2 に添って該光線 1 2 7 を試料 1 0 4 上に向ける。光線 1 2 7 は、反射され反射経路 1 3 3 に添って試料 1 0 4 から離れるが、該反射経路 1 1 6 は、光軸 1 0 2 に対して入射光線の経路 1 3 2 と同じ角度にあり、対物レンズ手段 1 0 1 を通過した後、経路 1 3 4 をたどり部分的に銀の張られた鏡 1 1 5 および 1 3 0 を通って見る手段 1 0 7 へ向かう。

光線経路 1 3 1 の角度および位置は、シフト手段の鏡 1 2 9 の角度 1 2 9 A および横方向 1 2 9 T を移動させることによって調節自在で、大きさの異なる対物レンズ手段を使用することができ、またその各々のために最適の傾斜角を得ることができる。顕微鏡に一般に使用できるフィルターなどの他の光学装置と同様にランプ集光レンズ 1 4 1 および／またはアイリス 1 4 2 を光線経路 1 2 8 内に配置することができる。

すなわち、第2図の透過光実施形態と同様に、試料104は、多数の独立の光線によって照明されるが、これらの光線は、対物レンズ手段の光線に対して斜めであり、対物レンズ手段を含み該対物レンズ手段の光軸に対して斜めの見る手段まで反射経路をたどる。上に述べた多数斜透過光照明によって得られる効果は、すべて、上の多数反射光照明に関しても等しく得られる。

光線109の入射経路(113および114)は、光線127の反射経路(133および134)であってもよく、光線127(131および132)の入射経路は、光線109(二本の光線が180度離されている場合のように)の反射経路(116および117)であってもよい。

二本光線システムは、光線を互いにさまざまな相対角度にして構成することができる。二本光線の場合には、直角(第2B図参照)にして全体の構造を最善にすることができる。100°と180°の間では(第7A図参照)最良の3-Dを得ることができる。

追加の光学およびシフト手段を積み重ねれば、三本、四本、六本(第7C、7D、および7E図参照)あるいは他の任意の数の入射斜光線のシステムを生成することができる。しかし、二本以上の光線を使用する場合には、第6図に示す部分的に銀を張った鏡などの光線分割装置を積み重ね、反射光線の各々が見る手段に達する前に複数のこのような光線分割装置を通過するようにしなければならない。したがって、多数光線を有するが多数回分割する必要のないシステムを使用することが好ましいであろう。第8、9、および10図は、このような一実施形態を示す図で、以下、これらの図を参照して説明する。

ハウジング141は、反射顕微鏡143の軸143に対して垂直に延び、複数の調節自在な鏡146を有する光線シフト手段144を支持している。各鏡146は、光源手段147からの光線を受けてその光線を部分的に銀を張った鏡151を含む主光線シフト手段149上へ反射するように位置合わせされている。鏡151上に反射されるすべての光線は、顕微鏡143の対物レンズ手段148を通過して試料152上に向けられる。反射されて試料から離れて見る手段153内に入る光線は、単一の光線分割装置一部分的に銀が張られた鏡151-のみを

通過する。シフト手段144は、試料上に向けて反射されるすべての光線が試料照明光線としてもまた反射光線としてもともに軸148（これは対物レンズ手段の軸でもある）に対して斜めになるような角度で該光線を主シフト手段149に向ける。

以上、単一の主光シフト手段を有する二本光線システムのみを図示して詳細に説明したが、三本、四本、六本、あるいはそれ以上の光線を用いるシステムも、鏡144の数および光源147の数が増える以外は基本的に同じである。

第8、9、および10図の実施形態によって、反射顕微鏡で多数の斜光線を使用し、光線を多数の光線分割装置を通して光の強度を弱めることなく試料を照明することができる。主シフト手段151として薄膜を用いれば、光線が例えば部分的に銀を張った鏡の形態の光線分割装置を通ることによる光線のシフトから生じる問題をなくすることができる。

二本以上の光線を用いれば、すぐれた3-D像を見ることも可能である。本出願人の係属出願である1992年10月6日出願の一連番号07/957286「立体像顕微鏡の改良」に記載の3-D像を見るためのヘッドを用いれば、フィルターあるいはチョッパーを使用せずにリアルタイムで見たり写真撮影をすることができる。

3-D像を得るためのフィルターの使用は、透過光顕微鏡に関して上に説明したと同様に本発明の反射実施形態でも可能である。

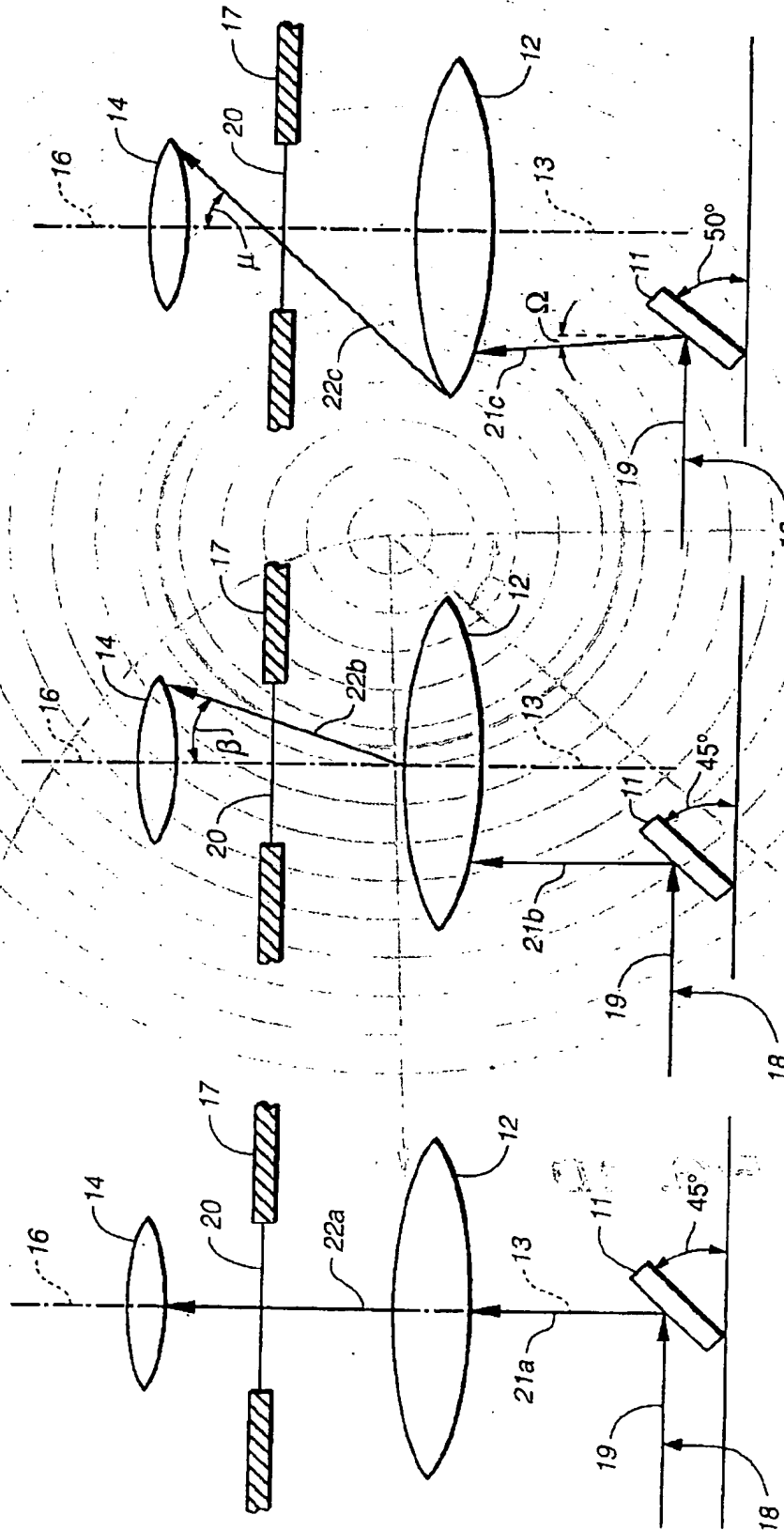
双眼鏡システムを備えた顕微鏡にあっては、等間隔に配置された四光線システム（第7D図）において、一对の隣接する光線が一つのアイピースのための照明を行ない、他の一对の隣接する光線が他のアイピースのための照明を行ない、3-D像用の直角の二光線システムで得られると同様な全体的な高い解像度のシステムが提供される。各々の眼が三本の光線を見る場合には（第7E図参照）、全体的な解像度がさらに改善される。

本発明は、リアルタイムの3-Dシステムを提供することによって従来の単一光線反射顕微鏡で得られるものをはるかに凌駕する成果が得られる。本発明にあっては、左右の像は独立して制御され、それらの間の視差の程度を容易に調節して使用する対物レンズや見る試料の種類に合わせることができる。さらに、本発

明の他のおそらくはより重要な効果として、コントラストを高めまた解像度を犠牲にすることなく視野の深さを高めることができる。

以上、本発明を詳細に説明したが、本発明は、以上の詳細に限定されるものではなく、添付の請求の範囲で定義されるすべての範囲を含むものである。

【 図 1 】



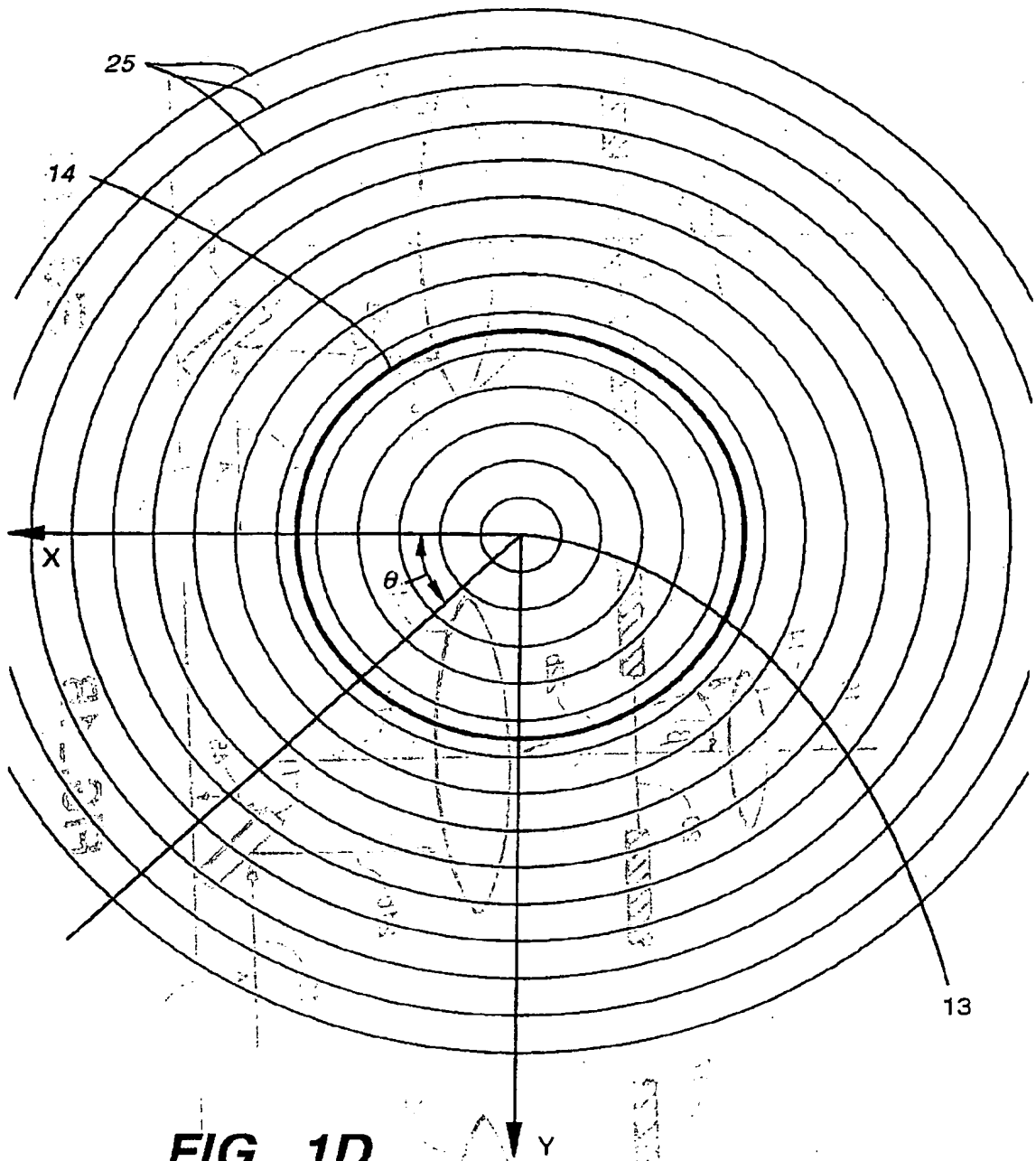
**FIG. 1A**

**FIG. 1B**

**FIG.-1C**

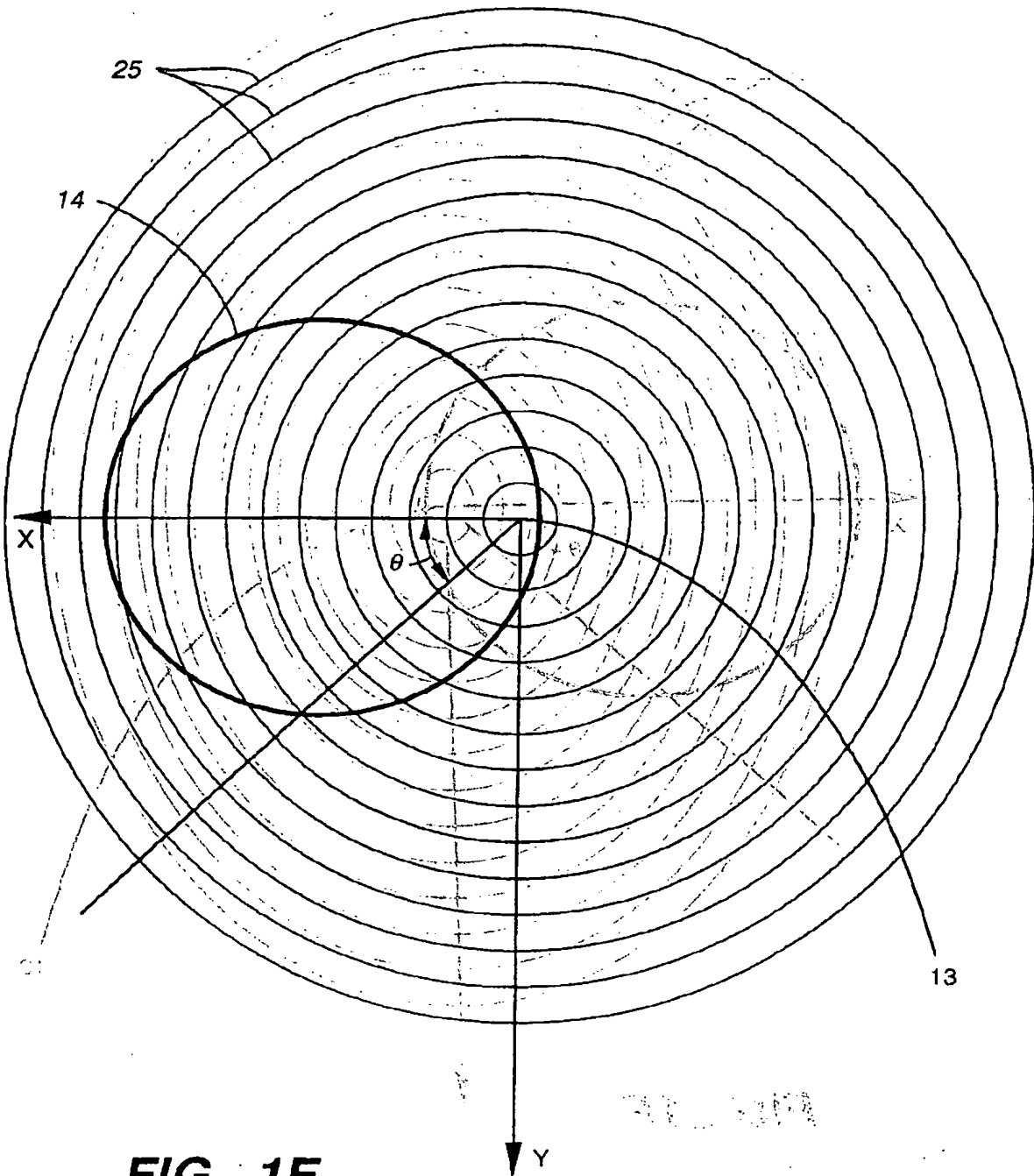


【 図 1 】



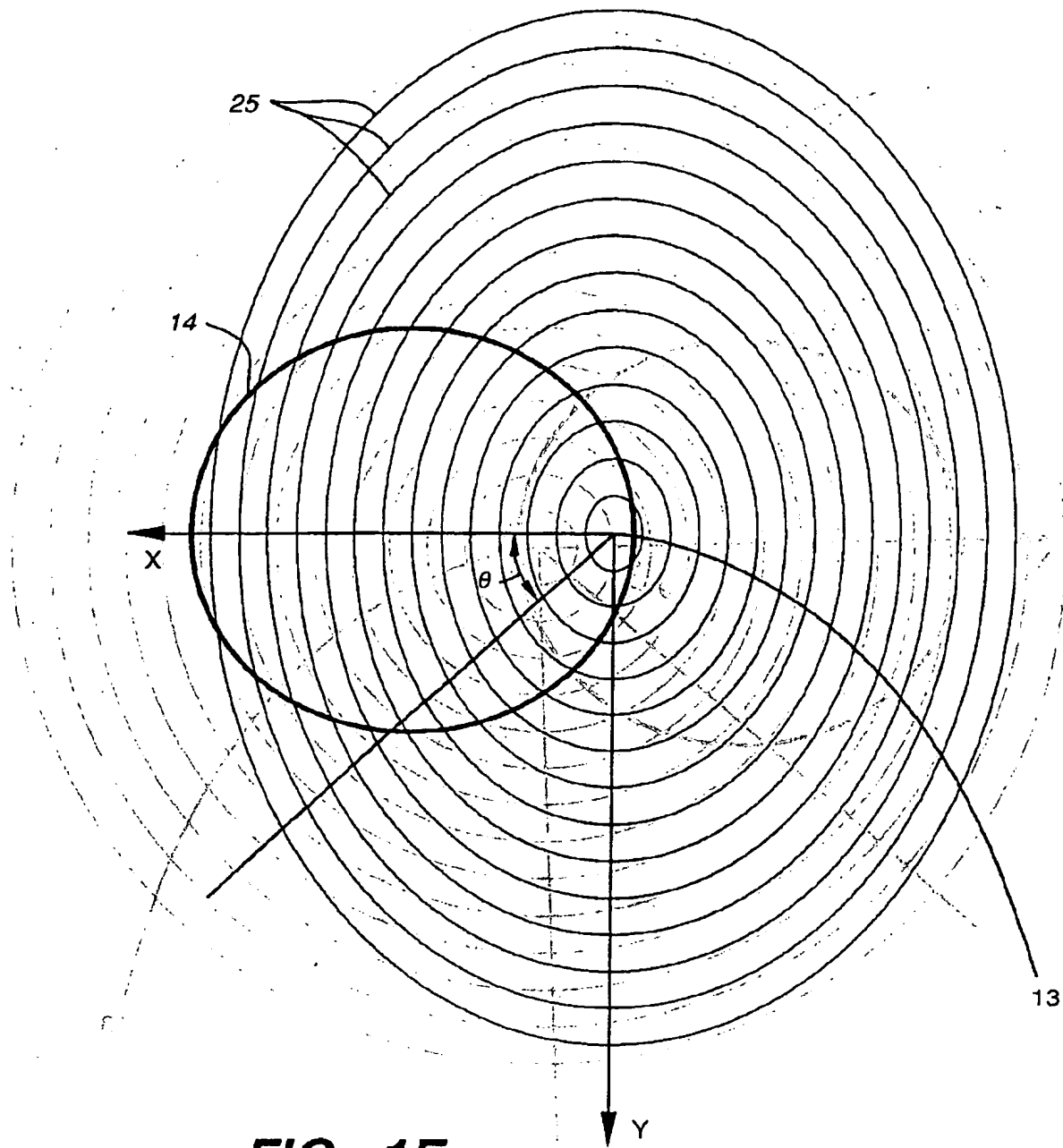
**FIG. 1D**

【 図 1 】



**FIG. 1E**

【 図 1 】



**FIG. 1F**

【 图 2 】

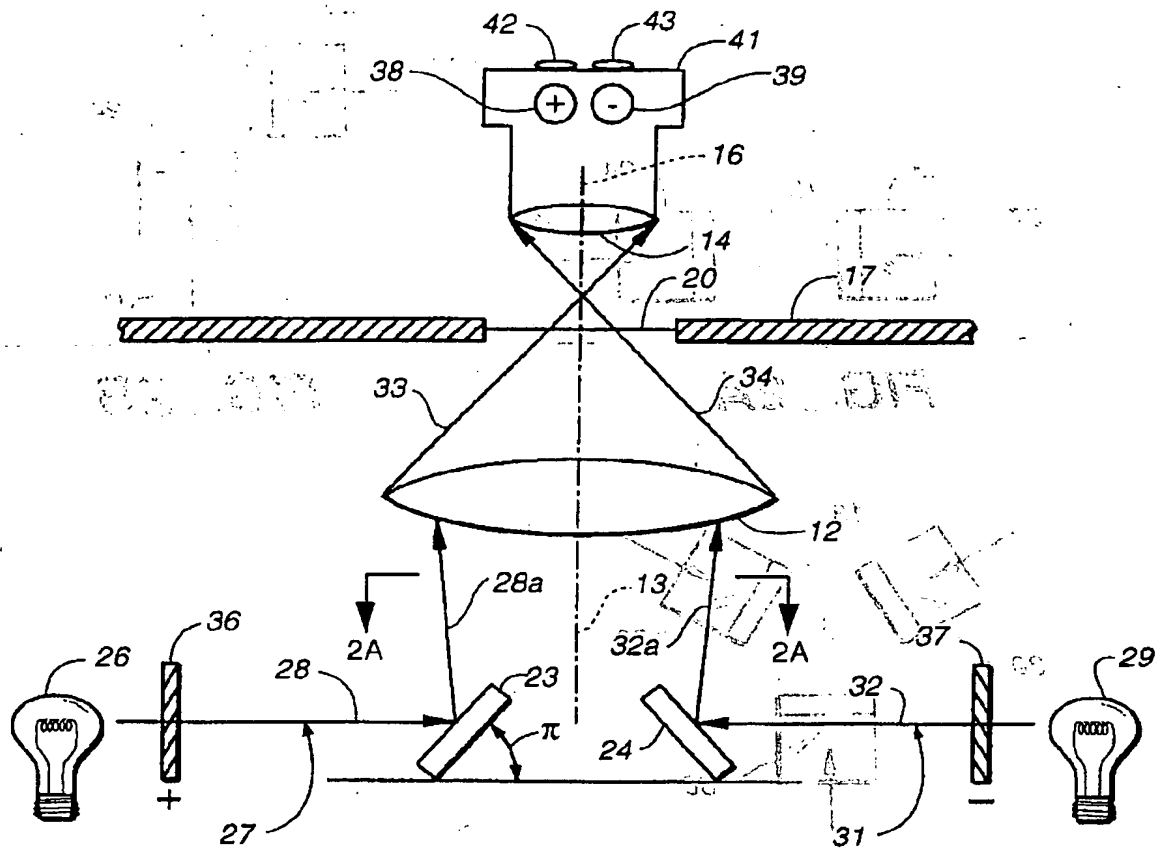
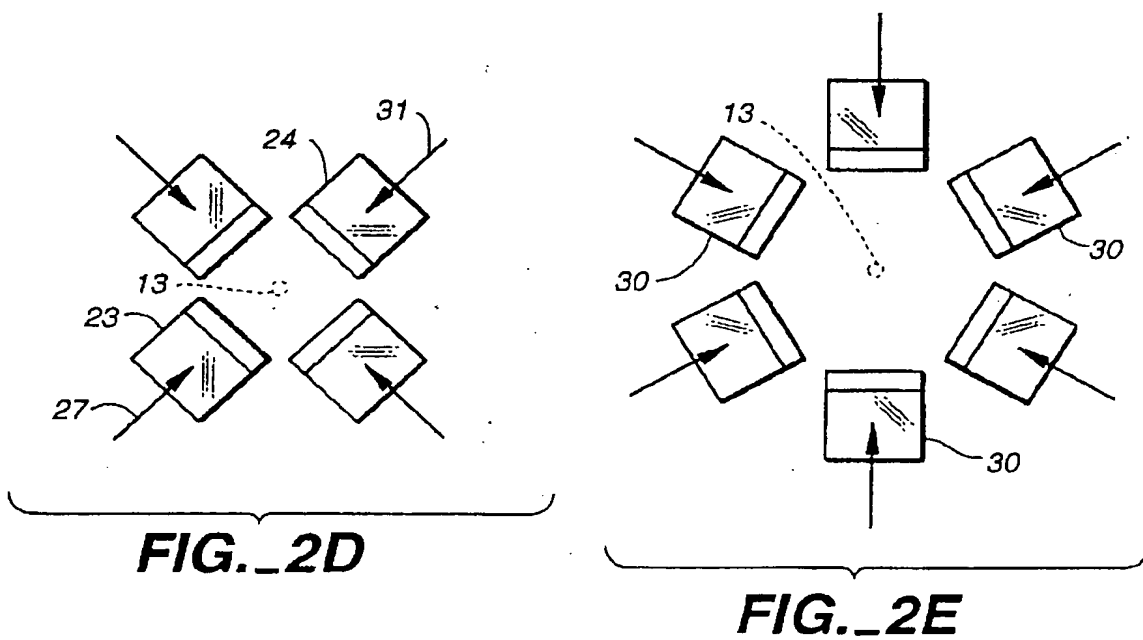
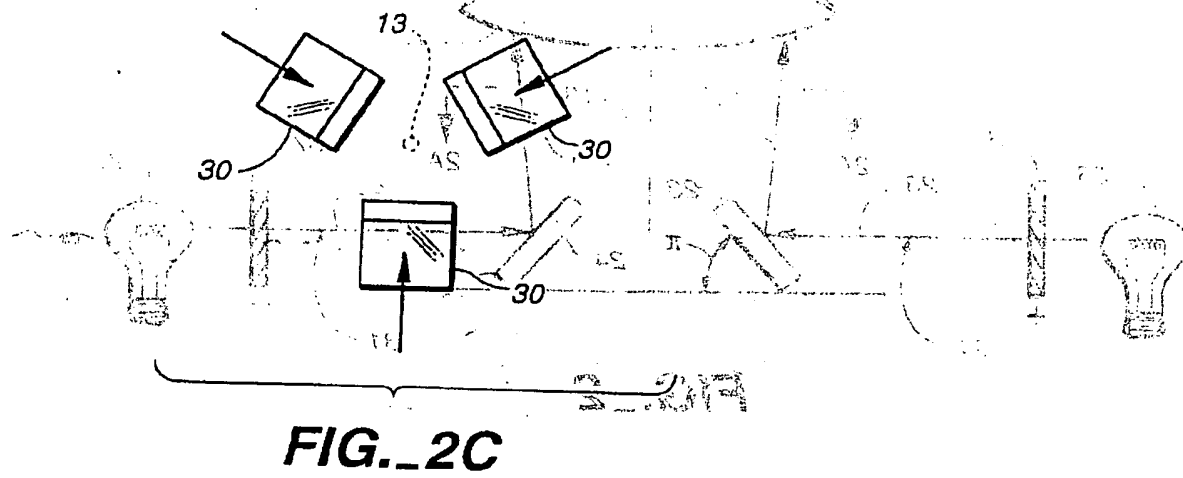
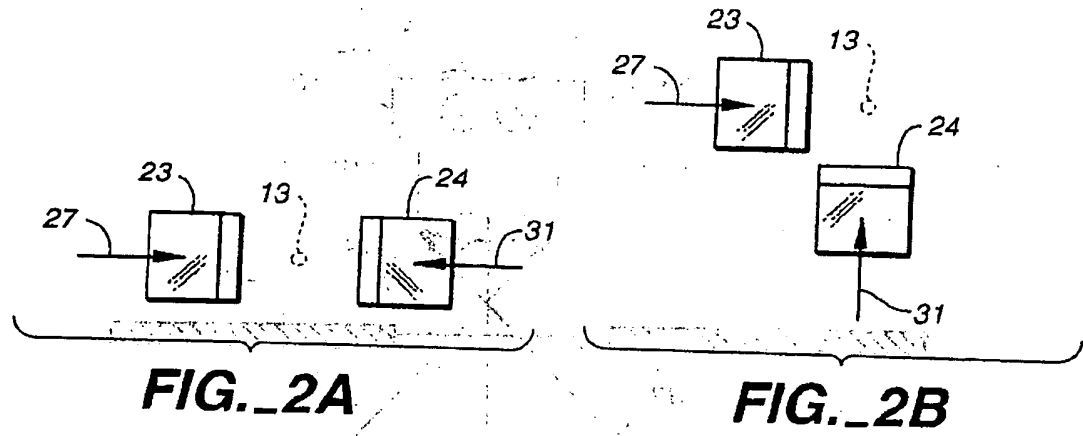


FIG.\_2

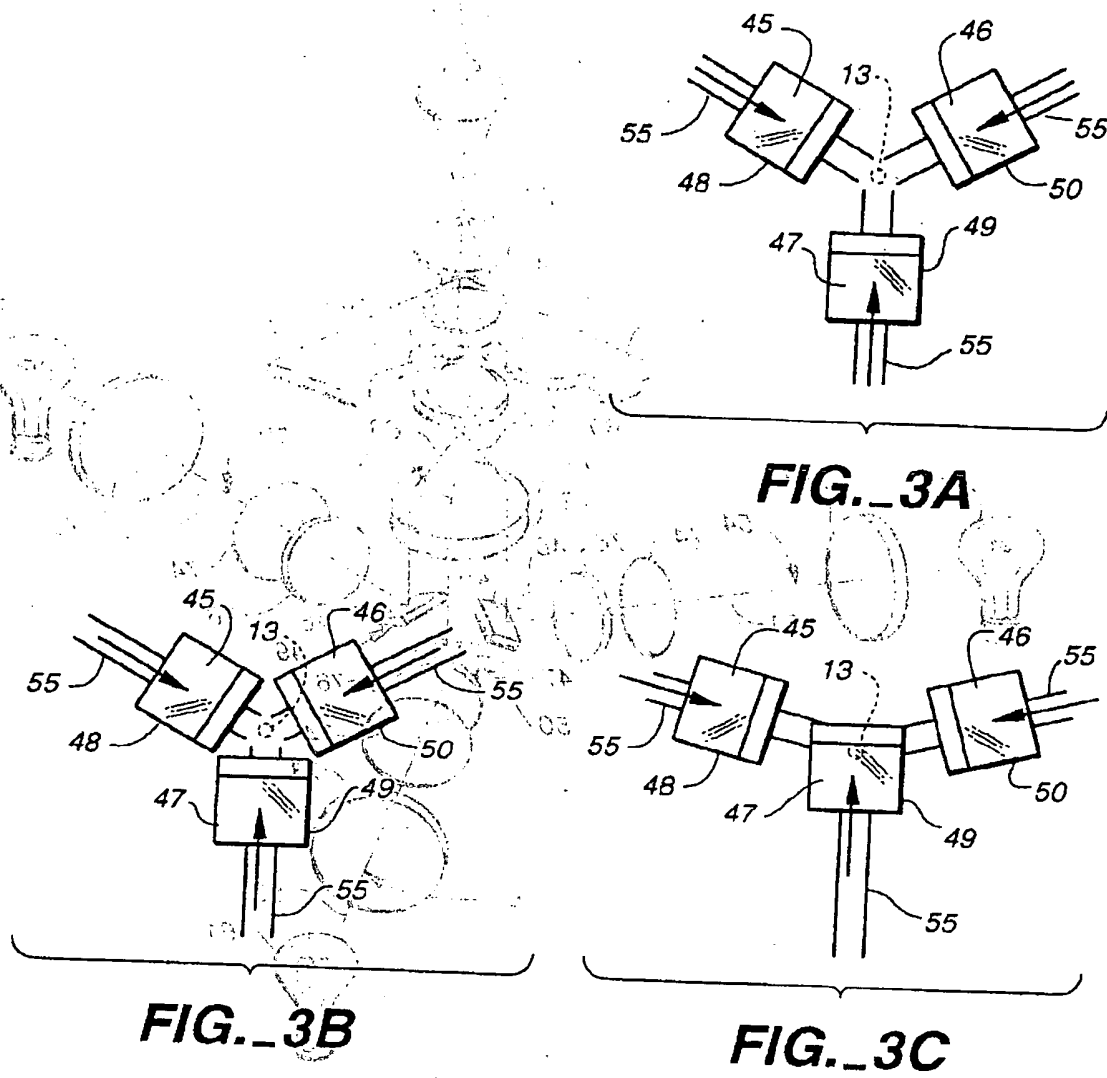
【 图 2 】



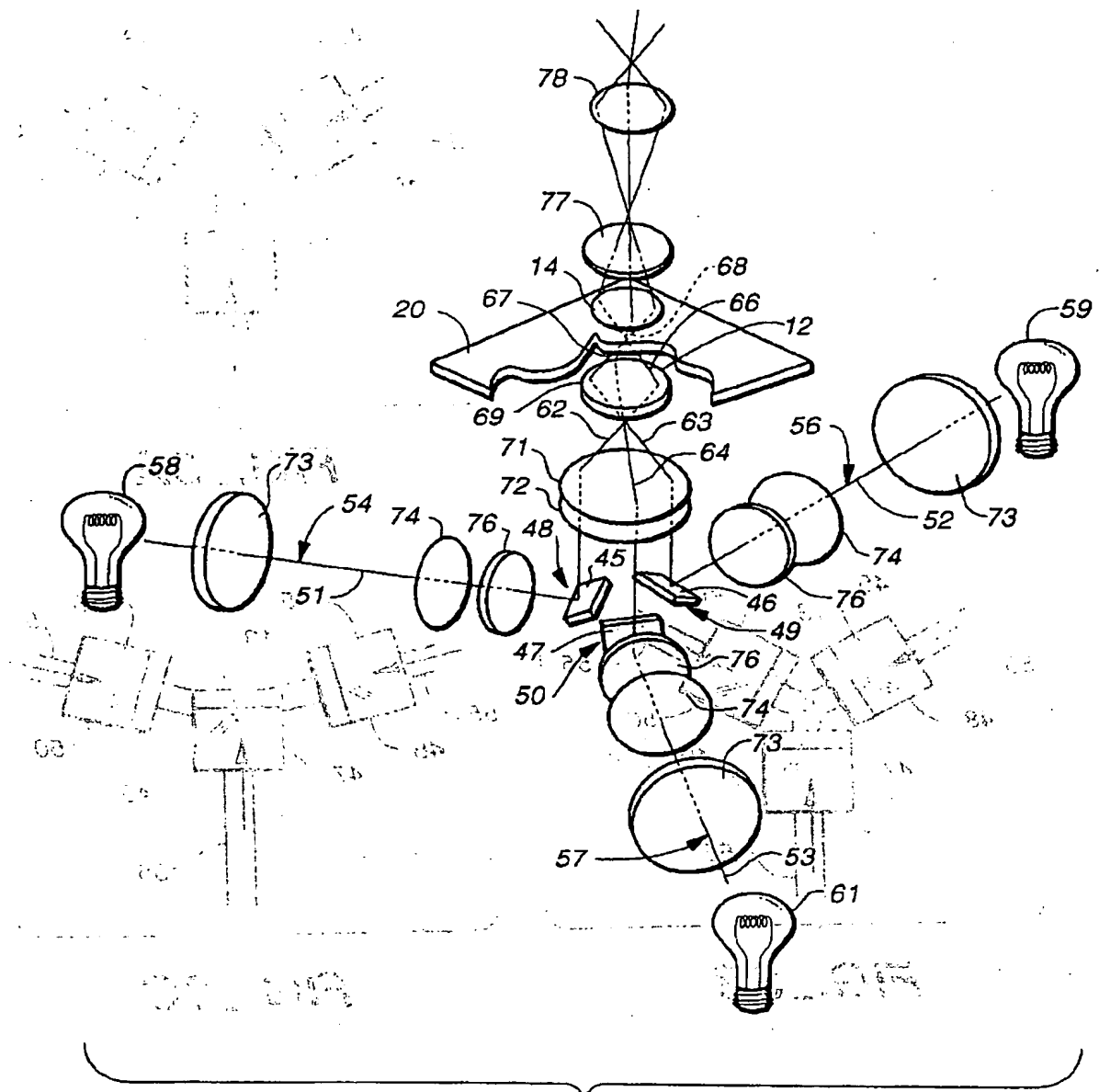
【 図 2 】



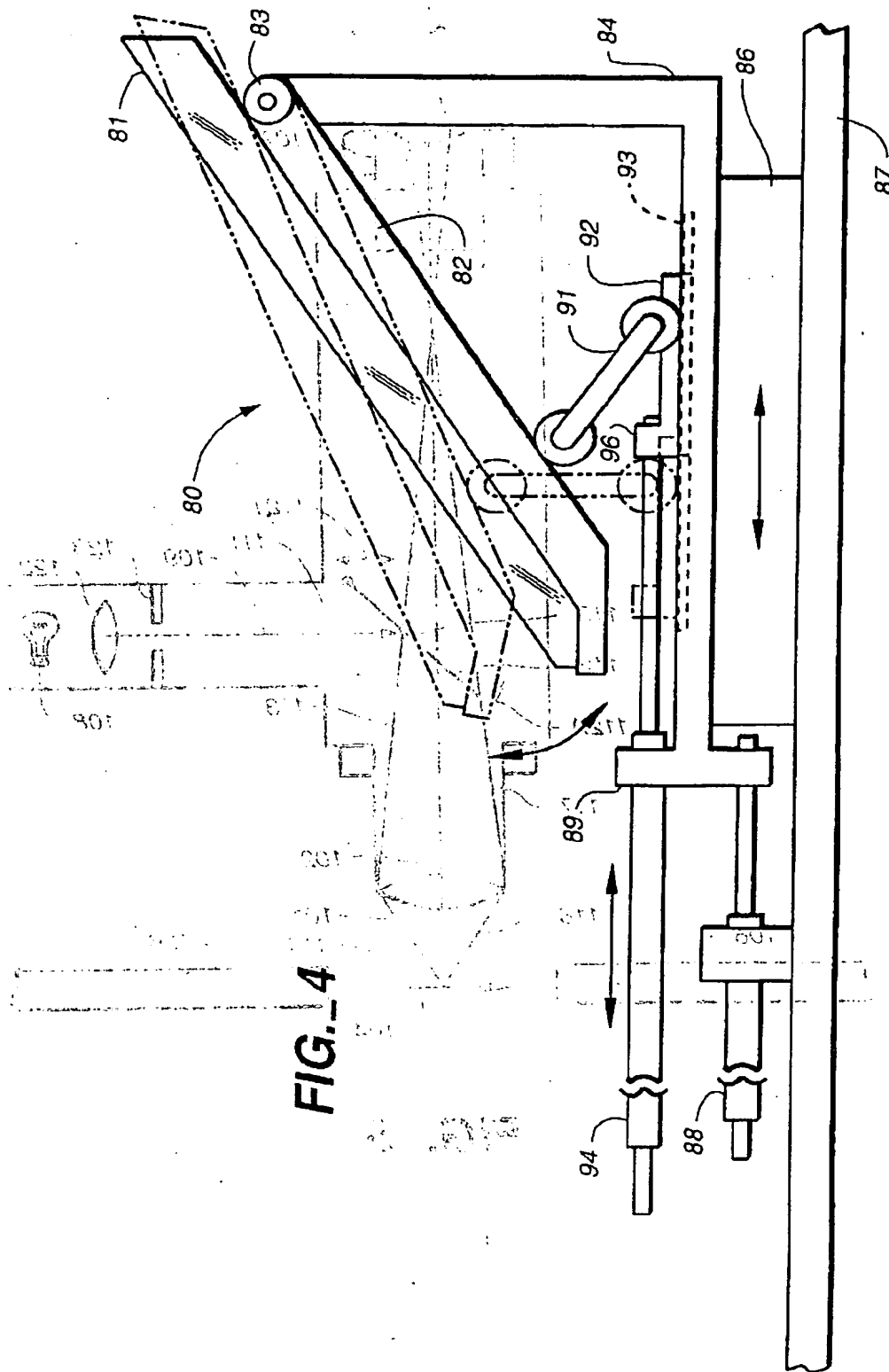
【 図 3 】



【 図 3 】

**FIG. 3**

【 图 4 】





【 図 5 】

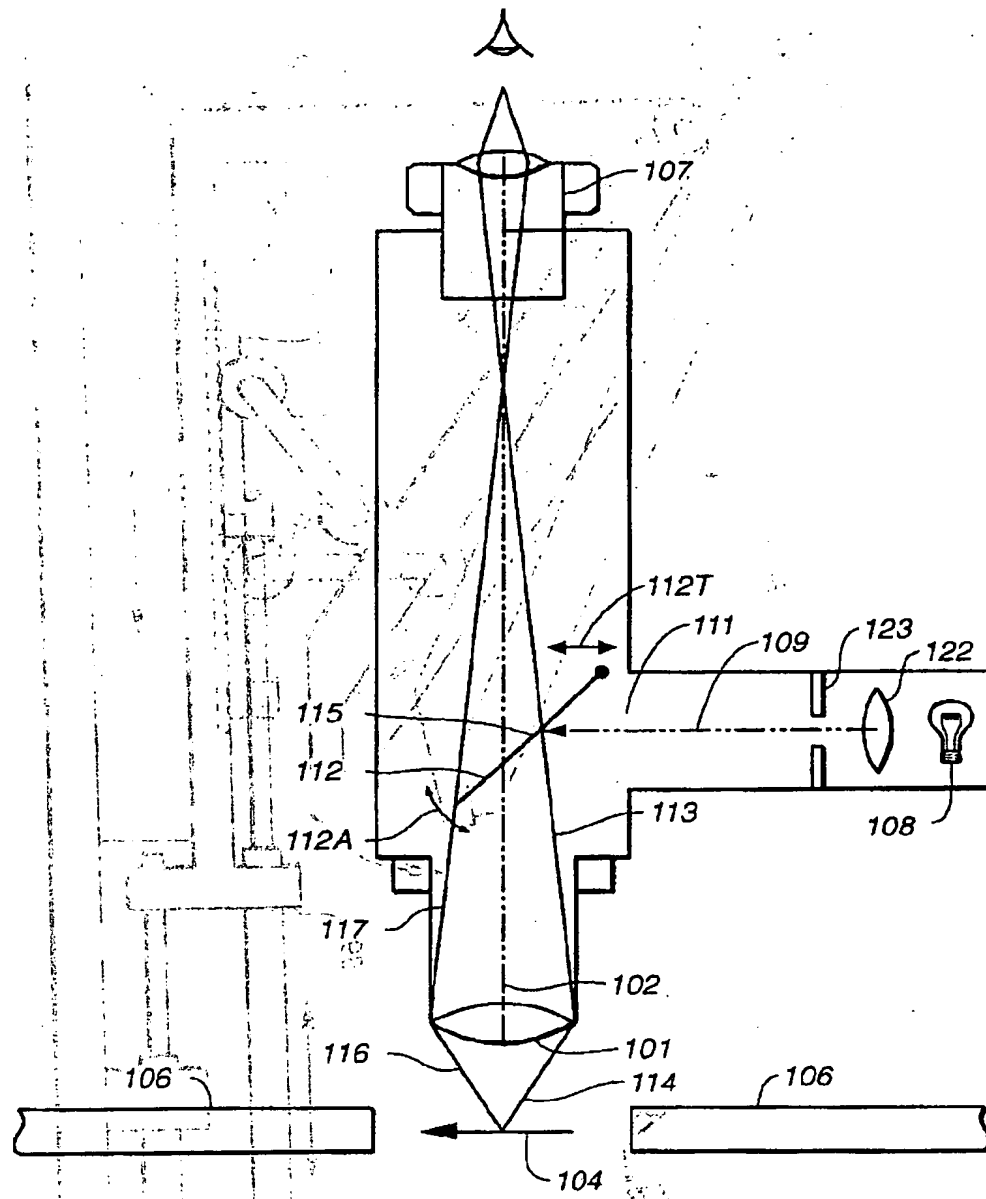
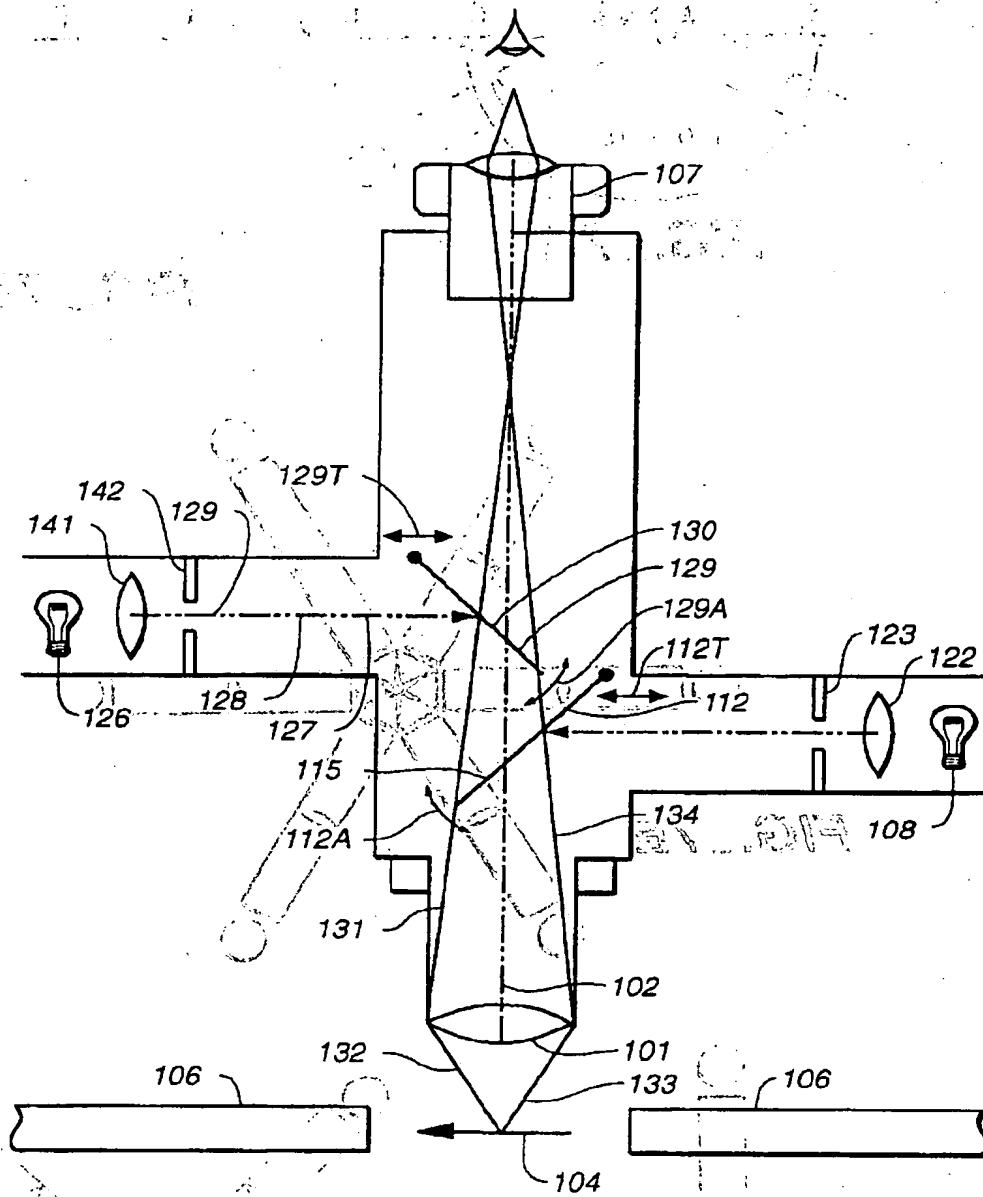
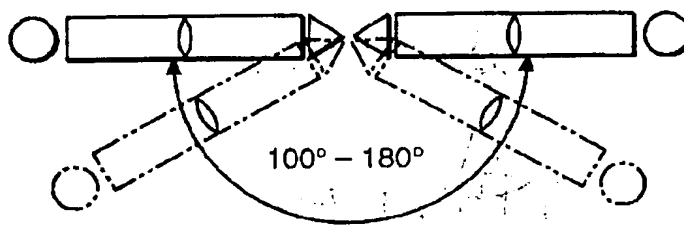
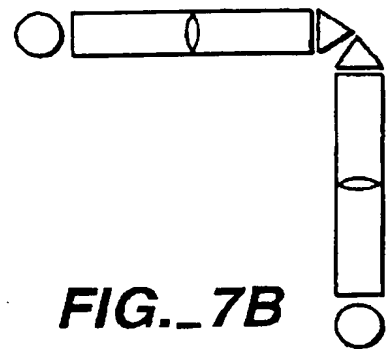
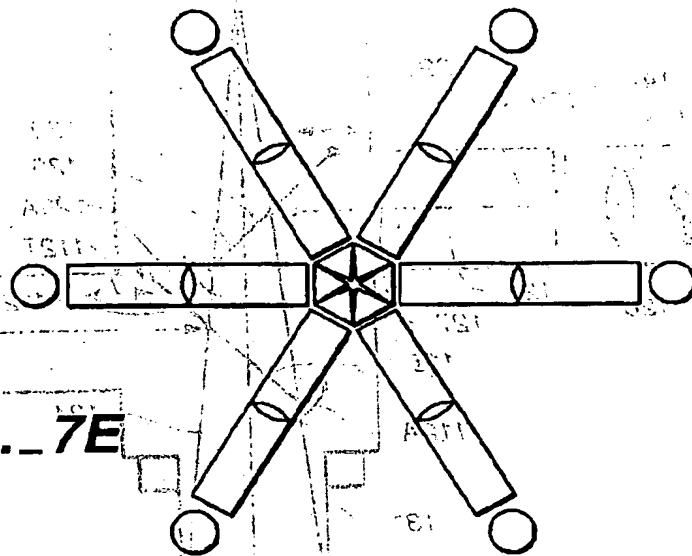
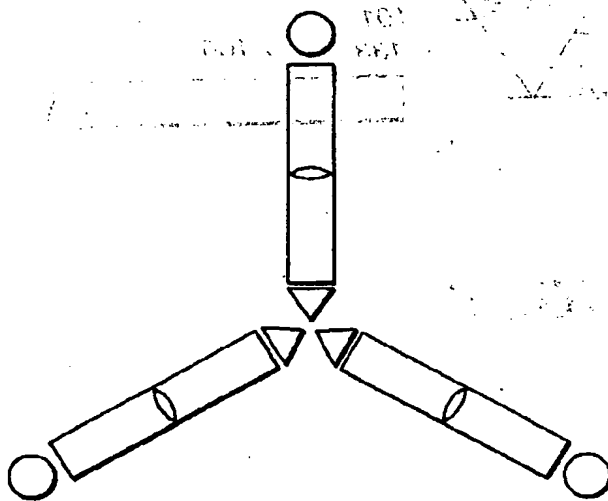
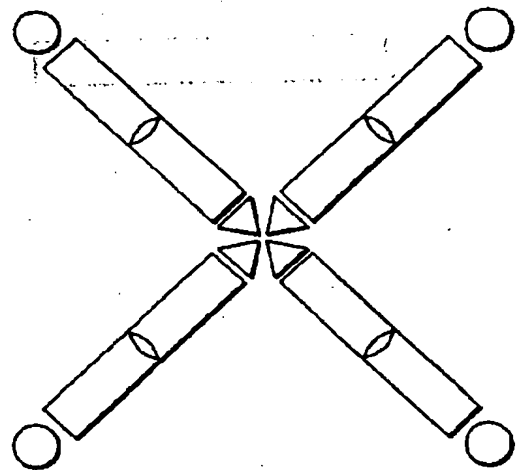


FIG.\_5

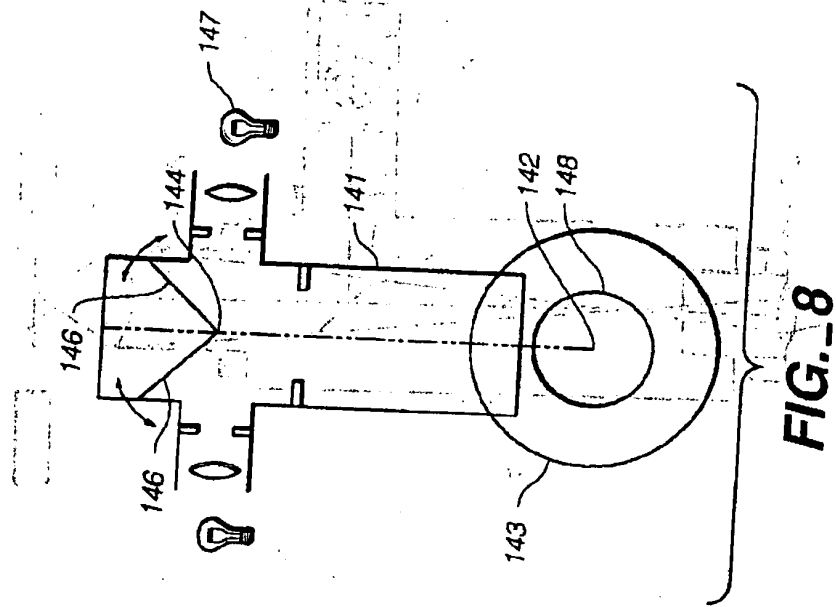
【 図 6 】

**FIG.\_6**

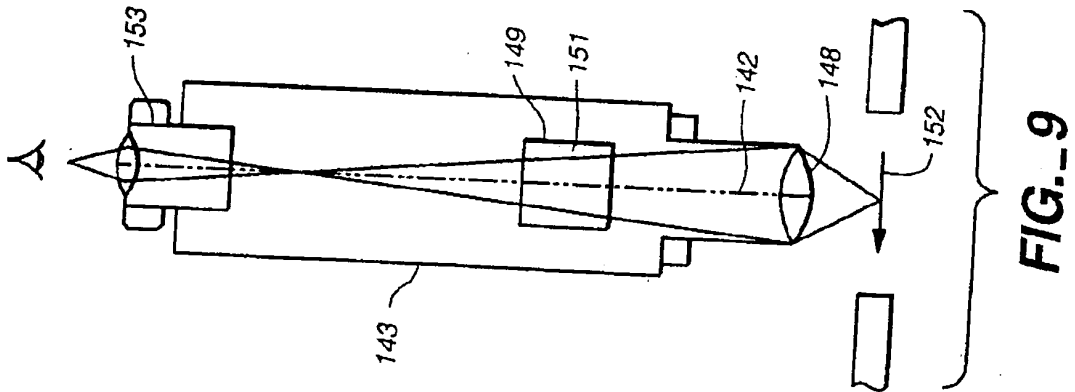
【 图 7 】

**FIG. 7A****FIG. 7B****FIG. 7E****FIG. 7C****FIG. 7D**

【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

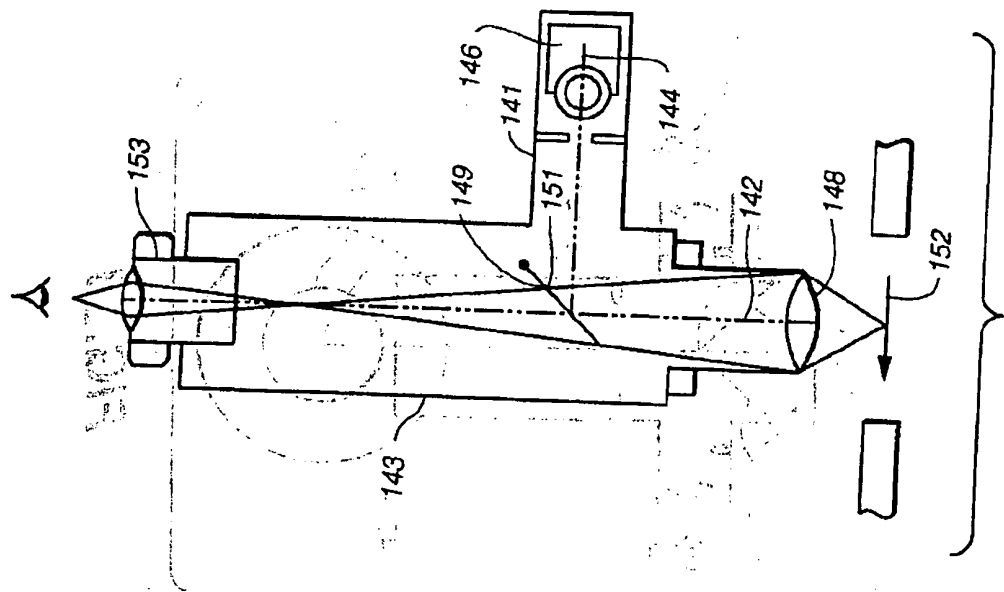
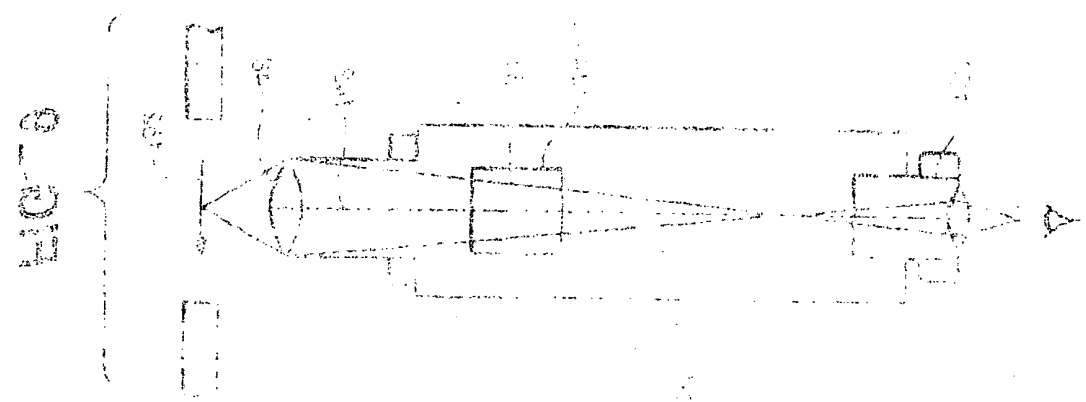


FIG.-10

## 【 国 際 調 査 報 告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US94/04438

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(5) : IPC(5): G02B 21/00, 21/06, 21/18, 27/10, 27/02.

US CL : Please See Extra Sheet.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : US CL.: 359/368, 370, 372, 373, 377, 379, 385, 389, 390, 618, 627, 798, 800.

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

None

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

APS, microscope, reflect?, condens?, objective(w)lens, oblique

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US, A 2,660,922 (Philpot) 01 December 1953. See columns 1, 4-5 and fig. 3.	1-2, 12, 16, 20-21, 30-31.
X/Y	US A 3,909,106 (Buhler) 30 September 1975. See columns 2-3 and figs. 2 and 3.	(1, 12, 20-23, 25, 30)/(2-5, 13-19, 24, 26-29, 31-32).
A	US A 4,317,613 (Grosser) 02 March 1982. See columns 2-3 and fig. 1.	1-35
Y	US: A 4,953,950 (Arata et al) 04 September 1990. See columns 2-3 and figs. 1-2 and 7-8.	2-5, 13-19, 24, 26-29, and 31-32.

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	* T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
* A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	* X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
* E earlier document published on or after the international filing date	* Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
* L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	* Z document member of the same patent family
* O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
* P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search

07 JULY 1994

Date of mailing of the international search report

JUL 21 1994

Name and mailing address of the ISA/US  
Commissioner of Patents and Trademarks  
Box PCT  
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. NOT APPLICABLE

Authorized officer

THONG Q. NGUYEN

Telephone No. (703) 308-4814

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US94/04438

## C (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages.	Relevant to claim No.
A	US, A 3,876,283 (Judd) 08 April 1975. See columns 1-3 and fig. 1.	1-35.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US94/04438

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER:  
US CL :

US Cl.: 359/368, 370, 372, 373, 377, 379, 385, 389, 390, 618, 627, 798, 800.